Primjena termovizije u ispitivanju brodskih sustava i električnih uređaja

Tićak, Adriano

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:425987

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**

Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository

zir.nsk.hr

uniri DIGITALNA KNJIŽNICA

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

ADRIANO TIĆAK

PRIMJENA TERMOVIZIJE U ISPITIVANJU BRODSKIH SUSTAVA I ELEKTRIČNIH UREĐAJA

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2020.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

PRIMJENA TERMOVIZIJE U ISPITIVANJU BRODSKIH SUSTAVA I ELEKTRIČNIH UREĐAJA

APPLICATION OF THERMOVISION IN TESTING OF SHIP'S SYSTEMS AND ELECTRICAL DEVICES

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Ispitivanje brodskih električnih uređaja
Mentor: Doc. dr. sc. Miroslav Bistrović
Student: Adriano Tićak
Studijski smjer: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu
JMBAG: 0112061204

Rijeka, srpanj 2020.

Student: Adriano Tićak
Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu
JMBAG: 0112061204

IZJAVA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom PRIMJENA TERMOVIZIJE U ISPITIVANJU BRODSKIH SUSTAVA I ELEKTRIČNIH UREĐAJA izradio/la samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Miroslavom Bistrovićem.

U radu sam primijenio metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan sam s objavom diplomskog rada na službenim stranicama Fakulteta.

Student

Adriano Tićak

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad opisuje primjenu termovizijskih kamera na brodu kako bi se pravovremeno detektirala i potencijalno spriječila moguća opasnost. Uvodni dio ovoga diplomskog rada odnosi se na funkciju termovizije, tj. gdje se termovizija sve primjenjuje, što je to toplinsko zračenje, koje su metode termografskog mjerenja, što je to termogram i slično. U radu je također prikazan i princip rada termografskih kamera, njezini sastavni djelovi i neke od najzastupljenijih tipova kamera u mjerenjima i nadzoru na brodu. Programska podrška objašnjena u radu omogućuje korisniku niz korisnih opcija kao što su pravovremeno uočavanje ili predviđanje kvarova, obrada termografskih slika i videozapisa, mogućnost kreiranja zapisnika i izvješća, pokretanje različitih formata termografskih videozapisa, itd. Primjena termovizijskih kamera važan je alat koji se danas sve više primjenjuje u raznim tehnološkim, pomorskim, medicinskim, industrijskim, zanimanjima.

Ključne riječi: termovizija, primjena u pomorstvu, zračenje topline, termogram, vrste termografskih kamera

SUMMARY

This graduate thesis describes the application of thermal cameras in the field of maritime affairs to detect and prevent potentially hazard in a timely manner. The introductory part of this graduate thesis refers to the function of thermovision, ie. where thermovision is applied, what is thermal radiation, what are the methods of thermographic measurement, and what is a thermal image. The paper also presents the main work of thermographic cameras, its components and some of the most common types of cameras in measurements and monitoring onboard. Software support explained in this paper provides the user with a number of useful options such as timely detection or prediction of faults, processing of thermographic images and videos, the ability to create logs and reports, launch different formats of thermographic videos, etc. The use of thermal imaging cameras is an important tool applied in various technological, maritime, medical, industrial, occupations.

Keywords: thermovision, marine application, heat radiation, thermogram, types of thermographic camera

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA 1

1.2. RADNA HIPOTEZA 1

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA 1

1.4. ZNANSTVENE METODE 2

1.5. STRUKTURA RADA 2

2. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA 4

2.1. TOPLINSKO ZRAČENJE 4

2.1.1. Vidljivi i infracrveni dio spektra 5

2.1.2. Primjer distribucije zračene energije s porastom valne duljine 6

2.2. TERMOGRAFSKE METODE 7

2.3. TERMOGRAM 9

2.4. KVALITETA IR SLIKE 12

2.4.1. Fokus 12

2.4.2. Optika 12

2.4.3. Rezolucija detektora (pikseli) 12

2.4.4. Vidno polje 13

2.4.5. Prostorna rezolucija 13

2.5. SMJERNICE ZA TOČNIJE MJERENJE 13

3. TERMOGRAFSKA KAMERA 14

3.1. RAZVOJ PRVE TERMOGRAFSKE KAMERE 15

3.2. PRINCIP RADA TERMOVIZIJSKE KAMERE 16

3.3. VRSTE TERMOGRAFSKIH INFRACRVENIH KAMERA 19

3.4. TERMOGRAFSKE KAMERE ZA PRECIZNO MJERENJE TEMPERATURE .. 20

3.4.1. FLIR E4 termografska kamera 21
3.4.2. FLIR T420 termografska kamera 23
3.5. TERMOGRAFSKE KAMERE ZA NADZOR 26
3.5.1. FLIR MD-324 termografska kamera za nadzor 27
3.5.2. FLIR PT-602CZ termografska kamera za nadzor i sigurnost 28
4. PROGRAMSKA PODRŠKA 31
4.1. MOGUĆNOST ZAPISA I IZVJEŠTAJA 36
4.2. PRODUCIRANJE I ANALIZA RADIOMETRIJSKIH VIDEOZAPISA (.SEQ I .CSQ) 38
4.3. KOMUNIKACIJA UŽIVO BRODSKE TERMOVIZIJSKE KAMERE I BRODSKE ALARMNE CENTRALE 40
5. PRIMJENA TERMOVIZIJE NA BRODU 42
5.1. PRIMJENA TERMOVIZIJE ZA ODREĐIVANJE KVALITETE KONSTRUKCIJE BRODA 43
5.1.1. Kvaliteta zavarivanja 44
5.1.2. Primjena termovizije u bojanju brodskih površina 45
5.2. PRIMJENA TERMOVIZIJE PRI ANALIZI STANJA ELEKTRIČNIH MOTORA 46
5.4. PRIMJENA TERMOVIZIJE U ANALIZI BRODSKIH ELEKTRIČNIH SUSTAVA I UREĐAJA 49
5.4. PRIMJENA TERMOVIZIJE U ANALIZI NAFTNIH MRLJA I DETEKCIJI LEDENJAKA 51
6. ZAKLJUČAK 54
LITERATURA 55
INTERNET LITERATURA 56
KAZALO KRATICA 57
POPIS SLIKA 58
POPIS TABLICA 58

1. UVOD

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Problematika ovoga rada obuhvaća najviše brodske sustave koji se moraju učestalo promatrati, najčešće primjenom termovizije, čime bi se smanjila mogućnost pojave neželjenih kvarova, grešaka sustava ili štete koje mogle ugroziti sigurnost na brodu. Na brodskim sustavima se tijekom svog rada znaju javiti izbacivanja uzrokovana električnim preopterećenjem, loša izvedba i istrošenost sabirnica i brodskih prekidača su samo neki od uzroka koji mogu dovesti do većih problema na brodovima. Termovizija je u današnje vrijeme znatno poboljšala sigurnost plovidbe i predstavlja bitnu ulogu čak i u traganju i spašavanju, kako na brodu tako i u ostalim zanimanjima. Termovizija, princip rada, vrste termovizijskih kamera i njihova primjena na brodu ujedno su predmeti i objekti obrađeni u ovome radu.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Kako motori, generatori i brodski električni sustavi postaju sve složeniji, tj. sadržavaju sve više mehaničkih i električnih komponenti, raste potreba za redovitim pregledom i održavanjem sa svrhom prevencije kvarova. Najveća prednost termovizijskih uređaja je to što predstavlja beskontaktni alat za pregled i mjerenje koji može prikazivati i pohranjivati točne temperaturne vrijednosti kao i vizualne prikaze. Termografske inspekcije infracrvenom kamerom odmah će prikazati toplinsko stanje električnih krugova, elektroničkih sustava i ostalih instalacija i dijelova na brodu.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha i cilj ovoga rada je putem pojedinih poglavlja objasniti teoriju toplinskog zračenja tijela, i upoznati se s pojmom termovizije, vrstama i principom rada termografskih kamera i objasniti kako pravilno koristiti programsku podršku termovizijskih kamera. Sam kraj rada pobliže opisuje gdje se sve termovizija koristi na brodu, od farbanja, zavarivanja, detekcije korozije, dijagnostike u strojarstvu, pa sve do ispitivanja brodskih električnih sustava i uređaja.

1.4. ZNANSTVENE METODE

Prilikom istraživanja, i obrađivanja pojedinih poglavlja korištene su sljedeće znanstvene metode: metoda analize i sinteze, komparativne metode, metoda indukcije i dedukcije, metoda specijalizacije i generalizacije, metoda klasifikacije i deskripcije.

1.5. STRUKTURA RADA

Istraživanje i rezultati istraživanja prikazani su putem šest poglavlja.

Prvo poglavlje, UVOD odnosi se na problem, predmet i objekte istraživanja, radnu hipotezu, svrhu i ciljeve istraživanja, znanstvene metode primijenjene u radu te na kraju se navodi kratka struktura rada.

Drugo poglavlje, INFRACRVENA TERMOGRAFIJA, u njemu se opisuje fizički zakon toplinskog zračenja tijela i spektar zračenja te je dan primjer distribucije zračene energije s porastom valne duljine. Nadalje, navedene su metode termografskog snimanja, te je objašnjen pojam termogram i koji faktori određuju njegovu kvalitetu. Na samom kraju su navedene neke od smjernica koje se trebaju uzeti u obzir kako bi mjerenje bilo što kvalitetnije.

Treće poglavlje, TERMOGRAFSKA KAMERA, opisuje razvoj prve termografske kamere, sastavne dijelove termografske kamere kao i samu obradu signala unutar termografske kamere. U navedenom poglavlju termografske kamere podijeljene su na kamere za mjerenje i kamere za nadzor, te je jasno vidljiva komparativna analiza navedenih tipova kamera

Četvrto poglavlje, PROGRAMSKA PODRŠKA, opisuje način rada FLIR alata, kao i njegove mogućnosti kao što su obrada termografskih slika i videozapisa, mogućnost kreiranja zapisa i izvještaja, analiza različitih formata datoteka. Na kraju poglavlja objašnjen je model sustava koji omogućuje komunikaciju između termografske kamere i brodske alarmne centrale.

Peto poglavlje, PRIMJENA TERMOVIZIJE NA BRODU, opisuje gdje se sve koriste termografske kamere na bordu počevši od farbanja i zavarivanja na brodu, inspekcije vezane za otkrivanje korozije, dijagnostike u strojarstvu pa sve do ispitivanja brodskih električnih uređaja i sustava. Uz navedene primjene priloženi su i slikovni primjeri.

Šesto poglavlje koje je ujedno i zadnje poglavlje, ZAKLJUČAK, na temelju provedenog istraživanja dobiveni su rezultati koji dokazuju prethodno postavljenu radnu hipotezu.

2. INFRACRVENA TERMOGRAFIJA

Infracrvena termografija predstavlja zapravo beskontaktno korištenje toplinskog uređaja koji otkriva zračenu toplinu koja dolazi iz nekog objekta ili predmeta. Toplinski uređaj obrađuje primljenu emitiranu toplinsku energiju nekog predmeta i vizualno predočuje distribuciju temperature promatranog predmeta na ekranu toplinskog uređaja. Slike koju nam prikazuje toplinski uređaj (termovizijska kamera) nazivaju se termogrami, oni nam omogućuju da vidimo predmete koji proizvode toplinu nevidljivu golim okom. Primjena termovizije i termovizijskih kamera važan je alat koji se primjenjuje u raznim tehnološkim, pomorskim, medicinskim, industrijskim, znanstvenim djelatnostima.

2.1. TOPLINSKO ZRAČENJE

Prilikom mjerenja temperature na daljinu, potrebne su nam informacije o temperaturi promatranog predmeta koje se mogu dobiti pomoću fizičkog zakona prema kojem svi predmeti ili objekti emitiraju energiju:

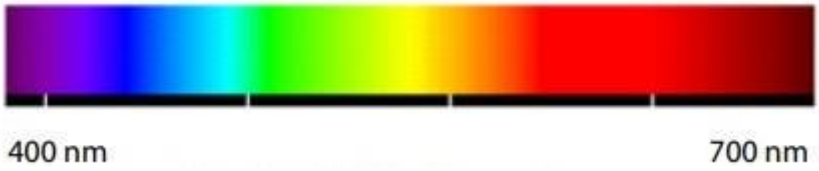
$$W = f(\varepsilon, T),$$

gdje je: W – rad, ε - koeficijent sposobnosti emisije i ovisi o sastavu i strukturi materijala, a T predstavlja temperaturu u Kelvinima. Prema danom zakonu vidimo da 0 K odgovara apsolutnoj nuli, tj, -273 °C. Na toj temperaturi tijela ne mogu emitirati toplinsku energiju, dok sva tijela iznad temperature apsolutne nule mogu emitirati toplinsku energiju u obliku elektromagnetskog zračenja (valova) koja kroz vakuum putuje brzinom svjetlosti. Bitno je još znati da razni materijali ne zrače jednakim intenzitetom jer se ne molekule ne kreću jednako.

IR zračenje nije vidljivo ljudskom oku, no kako bi bilo što lakše razumjeti kako se mjeri i gdje se ono primjenjuje možemo ga zapravo zamišljati na isti način kao i vidljivo svjetlo. IR energija se prenosi ravnim linijama od izvora do neke materijalne površine na svom putu, gdje se ona može reflektirati od materijala ili apsorbirati u materijal. Jedan dio energije koju apsorbira materijal će se transmitirati dalje, a drugi dio energije će se reflektirati iz materijala prema van. To pravilo se odnosi i na materijale koji su prozirni oku, poput stakla, plinova, tankih i bistrih plastika.

2.1.1. Vidljivi i infracrveni dio spektra

Sljedeća slika (slika 1) prikazuje raspon vidljivog spektra zračenja. To zračenje zapravo predstavlja elektromagnetski val koji se proteže u rasponu od 400 do 750 nm. Spektar zračenja prikazan nam je rasponom boja od tamno ljubičaste pa sve do tamno crvene. Ljudsko oko raspoznaje različite boje na temelju različitih valnih duljina, tj. frekvencija elektromagnetskog zračenog vala.



Slika 1: Vidljivi spektar zračenja

Izvor: http://www.enu.fzoeu.hr/data/prircert.pdf

Infracrveno zračenje također promatramo kao i vidljivo zračenje, tj. isti zakoni elektromagnetskog zračenja vrijede jednako i za infracrveno zračenje. Jedina razlika između vidljivog zračenja i infracrvenog je frekvencijsko područje i valna duljina. Infracrvena energija propagira na valnim duljinama od 0.75 μm do oko 210 μm. Infracrveni spektar zračenja nalazi se između vidljivog polja i mikrovalnog područja.

Infracrveno zračenje se može podijeliti prema raznim elektronskim osjetilima, koji imaju odziv u tim područjima:[1]

- Blisko infracrveno područje: (0,7 μm – 1,0 μm)
- Kratkovalno infracrveno područje: (1,0 μm – 3 μm)
- Srednjevalno infracrveno područje: (3 μm – 5 μm)
- Dugovalno infracrveno područje: (8 μm – 12 μm ili 7 μm – 14 μm)
- Vrlo dugovalno infracrveno područje: (12 μm – 30 μm)[1]

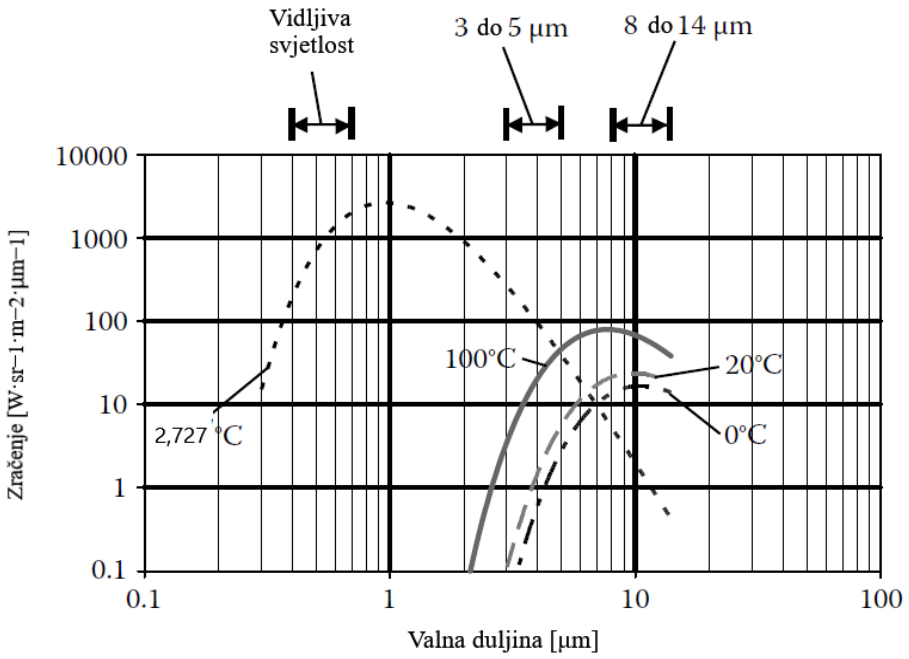
Termovizijske kamere najčešće obuhvaćaju rad u području od 3-5 μm i od 8-14 μm jer je u tom području propusnost atmosfere najpovoljnija. U atmosferi je prisutno mnogo različitih molekula koje apsorbiraju zračenje u određenim valnim duljinama (izuzetak su valne duljine od 3-5 μm i 8-14 μm) što može znatno utjecati na kvalitetu termografskog snimanja.

[1] https://hr.wikipedia.org/wiki/Infracrveno_zra%C4%8Denje.

2.1.2. Primjer distribucije zračene energije s porastom valne duljine

Sljedeća slika prikazuje grafičku distribuciju zračene energije povećanjem valne duljine u mikrometrima za četiri različite temperature. Temperature su 2,727 ˚C (3,000 K, temperatura žarulje), 0 ˚C (273 K, ledište vode), 20 ˚C (293 K, sobna temperatura) i 100 ˚C (373 K, vrelište vode).

Navedena slika također prikazuje raspon valnih duljina do kojeg je ljudsko oko osjetljivo na podražaj (vidljivo zračenje), to su valne duljine od 0.4 μm do 0.75 μm. Iz krivulja grafa možemo vidjeti da žarulja zrači takvim intenzitetom da je ljudsko oko osjetljivo na takav podražaj (zračenje unutar granice vidljivog zračenja). Dok tijelo na sobnoj temperaturi, pa čak i temperatura na kojoj voda isparava, ne emitira gotovo nikakvo zračenje u rasponu valnih duljina na koje je oko osjetljivo. Stoga ih možemo izravno vidjeti jedino ako su osvijetljeni izvorima zračenja kao što su sunce ili žarulja sa žarnom niti.



Slika 2: Distribucija zračene energije povećanjem valne duljine za četiri različite temperature

Izvor: Izradio student prema: Williams, Thomas. Thermal imaging cameras: characteristics and performance. CRC Press, 2009. str. 2

Prikaz slika u infracrvenoj termografiji možemo razvrstati u dvije skupine: kvalitativni i kvantitativni prikaz. Kvalitativni prikaz se u osnovi odnose na pretvorbu slika iz područja koje je oku nevidljivo (veće valne duljine) u područje vidljive svjetlosti. U ovoj navedenoj skupini prikaza dani su samo okvirni podaci o termogramu kako bi se mogla otkrit prisutnost nekog premeta ili čak uzroka kvara, temperaturna vrijednost nije toliko bitna.

Dok kvantitativni prikaz se najviše koristi na sustavima u kojima se ne generira vizualna slika, već se ta generirana slika obrađuje u cijelosti elektroničkim putem kako bi se iz nje mogli izmjeriti neki bitni parametri, tj. temperatura. Tu nam je bitan temperaturni stupanj kako ne bi došlo do još veće ozbiljnije štete.

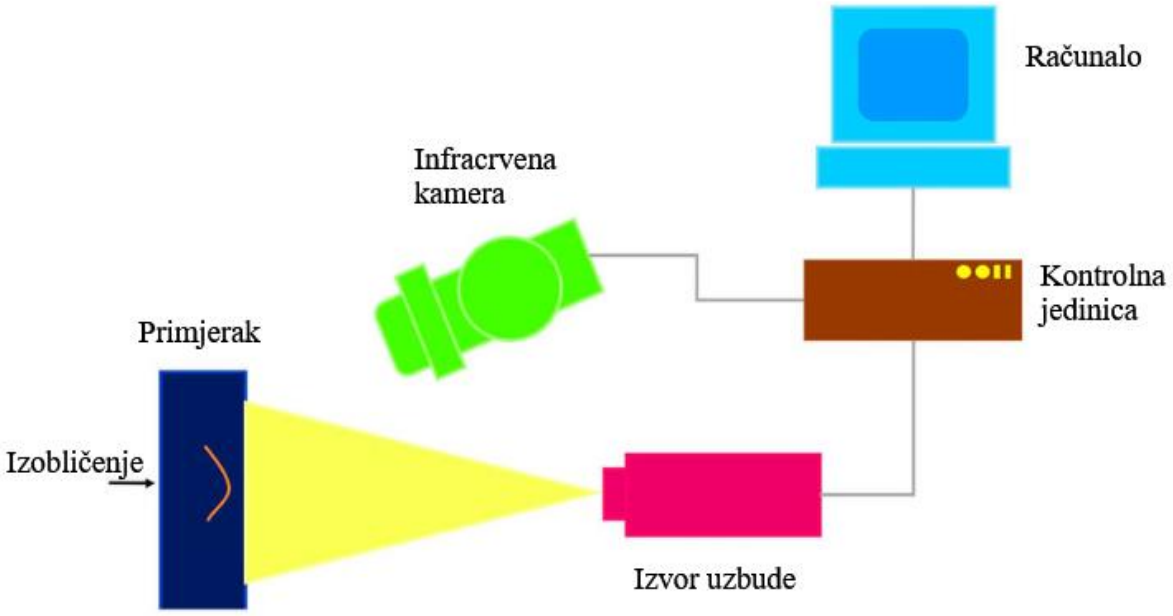
2.2. TERMOGRAFSKE METODE

Istraživanja koja su povezana s inteligentnim sustavima koji služe za dijagnosticiranje stanja električne opreme i sustava procjenjujući infracrvene termografske slike i dalje su u ranoj fazi, no njihova široka primjena znatno je ubrzala mjerenja, analizu i obradu podataka predmeta koji se ispituje. Postoje tri osnovne metode termografskog snimanja: aktivna termografija, pasivna termografija i tranzijentna termografija.

Aktivna termografija zasniva se na promatranju dinamičkog ponašanja površine materijala izloženog toplinskoj pobudi[2]. Pobuda se postiže na više načina, može biti uzrokovana nekakvim vibracijama, zvučnim impulsima, hlađenjem, grijanjem, itd.. Ako mijenja pobuda onda se i temperatura materijala mijenja. Promatranjem termovizijske slike, nakon promjene pobude, u pojedinim vremenskim intervalima moguće je matematičkim metodama odrediti materijalna svojstva. Tranzijentna termografija je zapravo ista kao i aktivna termografija samo što se izvor uzbude nalazi obično iza materijala koji se snima.

Cilj je zapravo prenijeti energiju s nekakvog izvora uzbude na promatrani primjerak, te promatrati kako će on reagirati na podražaj. Na temelju strukture materijala, tj. površine, u pojedinim vremenskim intervalima dobivat ćemo različite termograme. Provođenjem matematičkih metoda na termogramima moguće je dobiti podatke vezane za dimenzije, vrste i gustoću materijala ili pak samo detektirati razlike koje se ističu u odnosu na okolinu (više slojeva boje na različitim materijalima).

[2]https://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/Infracrvena%20termografija_Vjezbe_FSB_Boras.pdf



Slika 3: Aktivna termografija

Izradio student prema: https://www.researchgate.net/figure/Active-thermography-set-up_fig1_318532435

Za analiziranje konstrukcija i materijala koristi se pasivna termografija, tj. primjenjuje se samo za razlikovanje temperaturnih polja. Na temelju tih razlika primjenjuju se odgovarajući zaključci. Ova metoda temelji se na razlici temperature nekoga promatranog materijala ili objekta ako se nalazi u stanju mirovanja u odnosu na okolinu. Ako se temperatura materijala i malo razlikuje od okoline (npr. cijevi bojlera na brodu), to će na termogramu biti vidljivo. Također može se dogoditi da temperatura promatranog materijala bude blizu ili gotovo jednaka temperaturi okoline kao posljedica vanjskih čimbenika. Važno je iskustvo u radu s termogramima kako ne bi došlo do krive interpretacije u slučaju kada materijali zrače s nehomogenim temperaturama.

Navedeni termogrami (slika 4.) prikazuju nam tri primjera usko povezana s termografskim metodama. Prvi termogram prikazuje nam izlijevanje nafte u more jer morska voda reflektira više toplinske energije nego nafta.

Slika 4: Pasivna termografija

Izradio student prema: http://www.flirmedia.com/MMC/CVS/Maritime/MA_0018_EN.pdf

Na drugom termogramu vidimo da nam termovizija omogućava da pronađemo izvor vatre iako je izvor zaslijepljen dimom i konačno na trećem termogramu vidimo da termovizijske kamere mogu čak detektirati i ledenjake.

2.3. TERMOGRAM

Nakon provedenog termografskog mjerenja površine nekog predmeta ili objekta moguće je dobiti zapis, tj. sliku vidljivog spektra koja prikazuje raspodjelu intenziteta zračene topline što se naziva termogram. Temperatura koja se može izmjeriti na površini nekog predmeta nije jednaka zračenoj energiji toga predmeta. Slika stvorena termovizijskom obradom predstavlja objekte i prizore u kojima je kontrast slike rezultat zračenja tijela pri različitim temperaturama.

Svaki termogram je slika za sebe, čak i kad se radi o istim objektima snimanja. Svaki termogram mora sadržavati i graf boja koji je kompatibilan s temperaturom. Termovizijski uređaj mora sadržavati i temperaturni senzor kako bi praćenje temperaturnih promjena objekta bilo što preciznije. Ako su boje na termogramu jednakomjerno raspoređene, time je i oslobađanje topline također jednakomjerno.

Intenzitet plamena i boja ovise o količini zraka, materijalu koji gori, zračnim strujama i slično. Također, za procjenu temperature nekog objekta zahvaćenog plamenom moguće je poslužiti se navedenom tablicom boja (tablica 1). [3]

[3] Bistrović, M. (2016). Prilog povećanju učinkovitosti brodskoga vatrodojavnog sustava primjenom novih elektroničkih računalnih tehnologija (Disertacija). Preuzeto s https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:437000. str 96.

Tablica 1: Procjena temperature plamena temeljem boje termograma[3]

BOJA PLAMENA	TEMPERATURA (°C)
SVIJETLO CRVENA	480 - 530
TAMNO CRVENA	530 - 600
TRULA VIŠNJA - TAMNA	600 - 650
- SREDNJA	600 - 700
- SVIJETLA	700 - 760
ŽARKO CRVENA	760 - 815
LOSOS CRVENA	870 - 930
NARANČASTA	930 - 980
ŽUTA	980 - 1050
SVIJETLO ŽUTA	1050 - 1150
BIJELA	1150 - 1250
JASNO BIJELA	1350 -

Izvor: Bistrović, M. (2016). Prilog povećanju učinkovitosti brodskoga vatrodojavnog sustava primjenom novih elektroničkih računalnih tehnologija (Disertacija). Preuzeto s https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:437000. str 96.

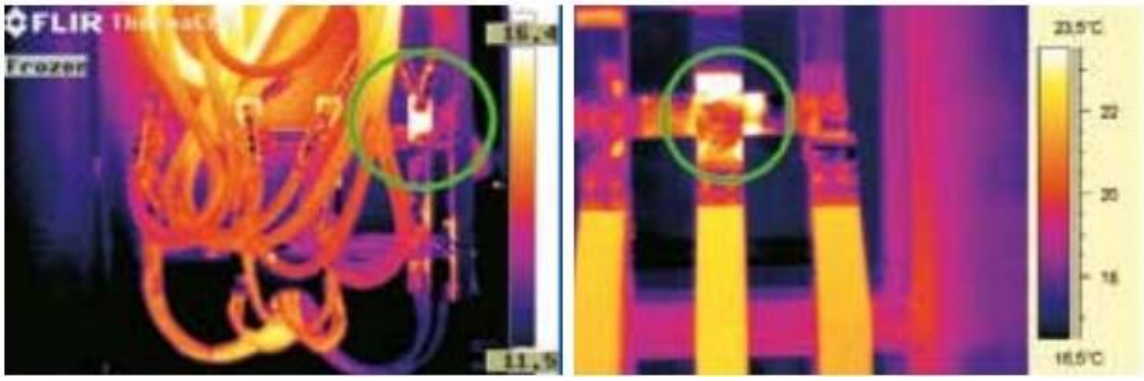
Hladnije i tamnije boje kao što su ljubičasta i plava upućuju na hladna mjesta, dok toplije i svjetlije boje kao što su crvena, žuta i bijela upućuju na toplija mjesta.

U termografiji, najvažnije je pravilno interpretirati termogram. Neki od najvažnijih čimbenika koji utječu na greške vezane za očitanje temperature su: toplinska vodljivost, sposobnost emisije (emisivnost), refleksija, vremenski uvjeti i sustavi grijanja i ventilacije zbog dodatnih zagrijavanja.

Toplinska svojstva su različita za skoro sve materijale. Npr. poznato je da se metali brže zagrijavaju nego izolacija. To navedeno fizikalno svojstvo zove se toplinska vodljivost.

Razlika u toplinskoj vodljivosti dvaju materijala koji su različiti može rezultirati visokom temperaturnom razlikom u određenim situacijama. Emisivnost je sposobnost materijala da emitira infracrveno toplinsko zračenje, ovisi o materijalnim svojstvima.

Izuzetno je važno postaviti pravu emisivnost na kameri ili će mjerenja temperature biti netočna. Ako npr. postavimo emisivnost na kameri za ljudsku kožu na 0.97, očitanje temperature će prikazati točnu vrijednost (36.7 °C), no ako postavimo vrijednost emisivnosti na 0.15 izmjerena temperatura tijela bit će 98.3 °C. Neki materijali reflektiraju toplinsko zračenje slično kao što zrcalo reflektira vidljivo svjetlo. Refleksija može dovesti do pogrešne interpretacije termograma. Ako materijalna površina nekog predmeta ima nisku emisivnost i postoji velika razlika između temperature promatranog predmeta i temperature okoline, onda će refleksija temperature okoline utjecati na temperaturu predmeta prilikom snimanja termalnom kamerom. Kako bi se taj problem riješio mnogi proizvođači su u svoje termalne kamere postavili različite postavke vezane za prilagodbu temperature okoline i refleksije.



Slika 5: Greška snimanja uzrokovana refleksijom

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf

Temperatura okoline ima veliki utjecaj prilikom očitovanja temperature termalom kamerom. Visoke temperature okoline mogu neprimjetno zamaskirati potencijalnu „mjernu točku“ tako što zagrijavaju cijeli sustav ili objekt promatranja. Dok niske temperature okoline mogu ohladiti „mjerne točke“ na temperaturu nižu od prethodno izmjerene.

Sustavi grijanja stvaraju temperaturne razlike koje također mogu prouzrokovati zavaravajući toplinski efekt. Protok hladnog zraka koji dolazi iz ventilacijskih sustava ili klima daju suprotan učinak, hladi se površina materijala, dok su komponente ispod površine materijala vruće. To je uzrok što neki kvarovi ili ostaju duži period nedetektirani.

2.4. KVALITETA IR SLIKE

IR slika koristi razne tonove boja za prikaz prividnih temperaturnih razlika između različitih područja koja IR kamera skenira. Kvaliteta slike presudan je faktor za utvrđivanje koja točno područja su kritična, tj. podložna mogućem kvaru. Za postizanje najbolje kvalitete slike mora se uzeti u obzir nekoliko faktora.

2.4.1. Fokus

Fokus infracrvene kamere izravno utječe na točnost snimljenih podataka o temperaturi. Na slici koja nije pravilno fokusirana moguće je izmjeriti temperaturu koja je u odstupanju od +-20°C. Glavni sustavi za fokusiranje na infracrvenim kamerama jesu fiksno fokusiranje, ručno fokusiranje i automatsko fokusiranje. Kamere s fiksnim fokusom uglavnom su dizajnirane za skeniranje udaljenosti od oko 0.45 metara ili više. Mnoge kamere s ručnim fokusom mogu snimiti slike bliže. Npr., Fluke kamere za ručno fokusiranje mogu se ručno fokusirati na 0.15 metara.

Dok kamere za automatsko fokusiranje većinom imaju ugrađeni laserski mjerač udaljenosti za izračun udaljenosti do cilja koji je korisnik prethodno odredio i fokus točno prilagodio tom mjerenju. To se naziva „LaserSharp Auto Focus“.

2.4.2. Optika

Optika termovizijske kamere usmjerava zračenje infracrvene energije na detektor u kameri kako bi se dobio odgovarajući odziv. Materijali koji su korišteni za optiku određuju kako se učinkovito infracrvena energija prenosi na detektor, a samim tim i kvaliteta dobivene slike. Germanijeve leće prekrivene su posebnim premazima i koriste se za najbolju kvalitetu u skupljim infracrvenim kamerama. Germanij je najučinkovitiji raspoloživi materijal za prijenos infracrvene energije na detektor, pa i samim time i za proizvodnju visokokvalitetnih infracrvenih slika.

2.4.3. Rezolucija detektora (pikseli)

Detalji mogu biti presudni kad IR kamerom promatramo manja područja snimanja iz većih daljina, ili manje dijelove nekih predmeta. Za detaljnije slike potrebno je više piksela usredotočenih na cilj.

Zato je važno znati rezoluciju detektora ili broj piksela na infracrvenoj kameri. Svaki piksel detektira izmjerenu temperaturu nekog promatranog područja. Općenito vrijedi da se kamerom koja ima više piksela može dobiti detaljnija slika.

2.4.4. Vidno polje

Vidno polje (FOV-field of view) termovizijske kamere ima jednako važnu ulogu kao i pikseli u određivanju kvalitete slike. Vidno polje predstavlja područje koje snimatelj vidi u određenom trenutku. Određuje se kombinacijom veličine senzora, leće i udaljenosti kamere do promatranog objekta. Kamera koja ima veće vidno polje prikazuje i veću površinu snimanja. Ako je potrebno pregledati cilj iz daljine zbog nekakvih prepreka ili sigurnosnih problema, kamera sa širim vidnim poljem može prikazati mnogo veće područje nego što je potrebno. Svaki piksel će detektirati izmjerenu temperaturu ukupne površine i kao posljedica toga, slika neće biti toliko detaljna. Znači ukoliko bi se uspoređivalo više kamera s istom rezolucijom, tako da jedna kamera ima uže vidno polje, ona bi prikazivala detaljniju sliku baš zato što su pikseli usmjereni na manje područje.

2.4.5. Prostorna rezolucija

Budući da rezolucija i vidno polje imaju ključnu ulogu vezanu za detalje infracrvene slike, postoji poseban faktor koji objedinjuje oboje, a to je prostorna rezolucija. Najbolja prostorna rezolucija ima najveći broj piksela unutar najužeg vidnog polja. Ta se kombinacija mjeri u mRad. Fluke termovizijski uređaji, npr., kreću se od 0,5 mRad (najbolji) do 7,9 mRad.

2.5. SMJERNICE ZA TOČNIJE MJERENJE

Kako bi snimanje termografskih slika bilo što točnije bitno je koristiti sljedeće smjernice:[4]

- Bitna je provjera ciljanog sustava koji mjerimo, potrebno je da sustav radi s najmanje 40% opterećenja jer manja opterećenja ne proizvode puno topline pa je tako teže otkriti problem

[4] https://www.fluke.com/en/learn/blog/thermal-imaging/infrared-cameras-on-the-front-line-for-preventive-maintenance

- Potrebno je približiti se sustavu koji se snima i ne snimati kroz nekakav objekt koji se nalazi između sustava koji snimamo i termografske kamere (npr. staklo)
- Obratiti pozornost na vjetar i strujanje hladnog zraka koji mogu ohladiti „vruće točke“, često ispod razine koje termografske kamere ne mogu detektirati
- Obratiti pozornost na temperature zraka, posebno na otvorenom. Po vrućem vremenu, sunce može zagrijati opremu, dok hladno vrijeme može prikriti zagrijane komponente
- Predmeti koji imaju sjajne reflektirajuće površine mogu reflektirati odraz infracrvenog zračenja drugih obližnjih objekata, npr. sunca. To može ometati mjerenje ciljane temperature i snimanje slike
- Temperaturu neobojenih metala je teško izmjeriti. Kako bi se poboljšala točnost mjerenja takvih materijala potrebi je pričvrstiti nekakve „ciljeve“ ,tj. papirnate naljepnice, električne vrpce ili slično
- Potrebno je prikupiti brojčane vrijednosti temperatura i termografske slike te ih uvijek imati na dohvat ruke kako bi se olakšala dugoročna analiza podataka. Na temelju tih podataka moguće je odrediti na kojim područjima je potrebna češća inspekcija, a na kojima rjeđe
- Nakon prikupljenih termografskih slika, potrebno je povezati temperaturu alarma s odgovarajućom slikom. Prije svake inspekcije potrebno je prenijeti najnoviju verziju slike na termografsku kameru. Ako se alarm ugasi prilikom novog mjerenja, to ukazuje na značajnu promjenu temperature koju je potrebno istražiti
- Visoka temperatura ne mora nužno uvijek izazivati problem. Termografi moraju razumjeti kako stroj radi i koji su njegovi znakovi kvarenja povezanih s toplinom

3. TERMOGRAFSKA KAMERA

Termografska kamera je zapravo uređaj koji stvara sliku uz pomoć infracrvenog zračenja, slična je uobičajenoj digitalnoj kameri koja formira sliku koristeći vidljivu svjetlost. Uobičajene kamere osjetljive su na valne duljine od oko 400-700 nm za vidljivo svijetlo, dok termografske kamere pokrivaju valne duljine od oko 1 µm do 14 µm.

Slika 6: FLIR T630sc-25 prijenosna IR kamera

Izvor: https://www.tequipment.net/FLIR/T630sc-25/Scientific-Thermal-Imagers/

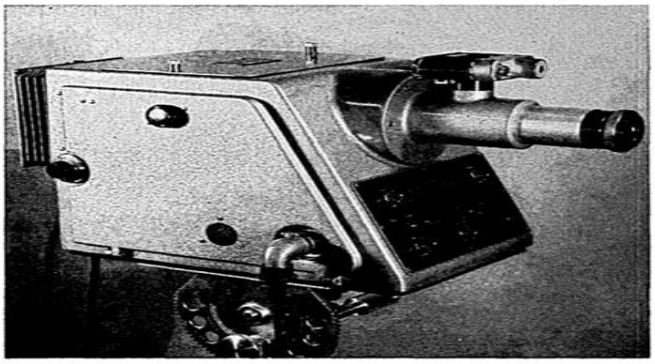
Termografske kamere često su prvi alat za inspekciju koji korisnik misli koristiti kao dio svog programa preventivnog održavanja. One mogu brzo uspoređivati toplinska mjerenja za svu opremu i uređaje, a sve bez neprekidnog rada. Ako je temperatura primjetno drugačija od prethodnih očitavanja, postrojenja mogu koristiti i druge tehnologije vezane za održavanje, kao što su, analiza motornih krugova, vibracija, analiza maziva, itd. kako bi pronašli uzrok problema i odredili što im je dalje činiti.

Kako bi rezultati održavanja bili što bolji, optimalno bi bilo da se svi sustavi održavanja integriraju u isti računalni sustav. Tako bi svi sustavi i uređaji bili u međusobnoj interakciji, tj. dijelili iste povijesti, izvješća, radne naloge, itd.

3.1. RAZVOJ PRVE TERMOGRAFSKE KAMERE

Mađarski fizičar Kálmán Tihanyi izumio je 1929. godine u Britaniji infracrvenu elektroničku televizijsku kameru namijenjenu za protuavionsku obranu. Prve američke termovizijske kamere bile su zapravo skeneri infracrvenih linija i trebalo im je čak jedan sat da proizvedu jednu sliku. Iako je provedeno nekoliko istraživanja vezanih za poboljšanje brzine i točnosti tehnologije, jedan od najvažnijih faktora vezanih za skeniranje slike, a koju je tvrtka AGA uspjela komercijalizirati bila je primjena rashladnih fotokonduktora. Prvi infracrveni linijski skeneri činili su zajedno s ostalim elektronskim komponentama sustav koji je koristio rotirajuće zrcalo i detektor. Iako na početku nisu bili uspješni u svojoj prvotnoj predviđenoj primjeni, našli su svoje mjesto namijenjeno za kopneni nadzor i postali su temelj vojnog skeniranja IR linija.

Prva IR kamera (izrađena 1956. godine), evaporograf bio je uređaj za toplinsko snimanje koji je pretvarao IR sliku u vidljivu sliku isparavanjem ili kondenzacijom ulja na tankoj membrani. U ovom procesu toplinskog snimanja prvi je element germanijeva leća koja sakuplja infracrveno zračenje i dovodi ga u fokus radi formiranja slike. Drugi element je detektor, on se sastojao od vrlo tanke nitrocelulozne membrane smještene u ravnini slike. Prednji dio površine membrane bio je obložen tankim slojem zlatno-crne boje koji je apsorbirao zračenje. Membrana apsorbira zračenje da bi se stvorio „efekt zagrijavanja“ koji je formirao toplinsku reprodukciju IR slike.

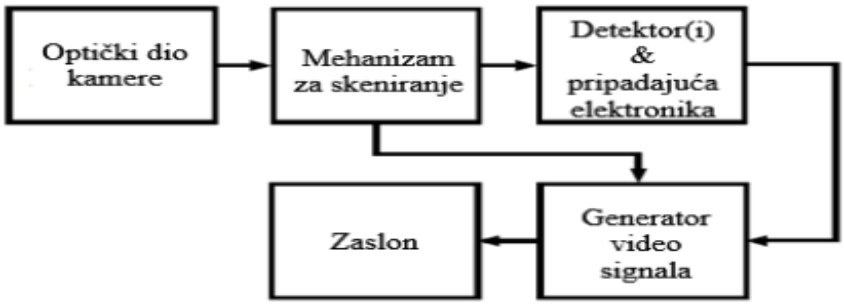


Slika 7: Prva IR kamera

Izvor: https://slideplayer.com/slide/10440689/35/images/5/The+experimental+setup.jpg

3.2. PRINCIP RADA TERMOVIZIJSKE KAMERE

Glavni elementi koji sačinjavaju termovizijsku kameru prikazani su na blok dijagramu:



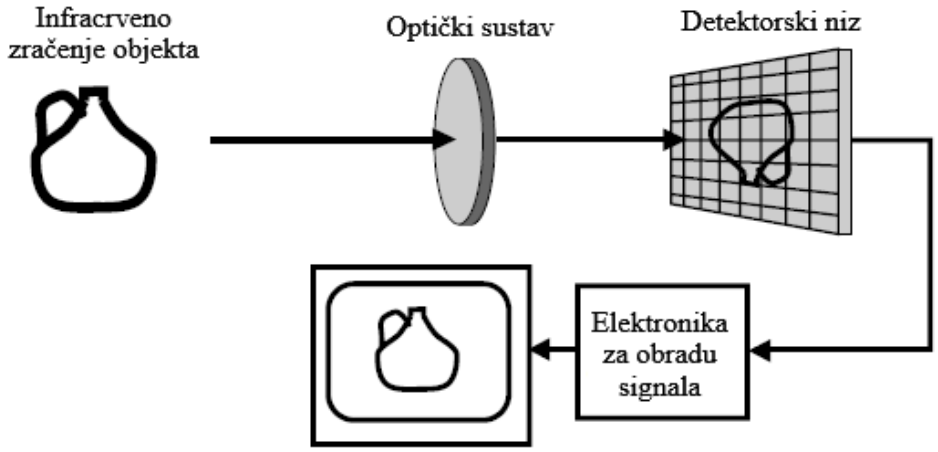
Slika 8: Blok dijagram termovizijske kamere

Izradio student prema: Williams, Thomas. Thermal imaging cameras: characteristics and performance. CRC Press, 2009. str. 8

- Optički sustav koji prima zračenu energiju koja se nalazi u rasponu termalne valne duljine i pomoću nje oblikuje sliku koju korisnik snima termovizijskom kamerom
- Jedan ili više detekcijskih elemenata koji primljeno termalno zračenje mogu konvertirati u električne signale
- Većina modernih kamera koriste velik broj detekcijskih nizova koji mogu pokrivati cijelo vidno polje termovizijske kamere
- Elektronički procesor koji obrađuje izlazne signale s detektora zajedno s skeniranim podacima i pretvara ih u video signal
- Jedinica za prikaz koja generira vizualnu sliku iz video signala

Što je veće područje snimanja koje elementi detektora obrađuju, to će biti bolje performanse termovizijske kamere u smislu osjetljivosti na temperaturne razlike. Najbitnije je zapravo u potpunosti ispuniti cjelokupno područje snimanja detekcijskim elementima. Kao što je već od prije poznato, optički sustavi koji se koriste u termovizijskim kamerama dizajnirani su i funkcioniraju u uređaju na isti način kao i optički sustavi za valne duljine vidljive svjetlosti (standardne kamere).

Glavna razlika je u tome što se većina materijala koji se koriste za valne duljine toplinske zrake, razlikuje od materijala koji se koriste kod valne duljine vidljive zrake, tj. postoje razlike između optičkih materijala koji se koriste u opsegu od 3 do 5 μm i onima koji se koriste u opsegu od 8 do 14 μm. Zrcala funkcioniraju jednako dobro i u termalnim pojasevima i u vidljivim, to znači da će dizajn svih zrcala unutar optičkih sustava biti isti za prethodno navedene valne duljine. Međutim, postoje i izuzetci kada su sustavi optimizirani za određeni pojas valnih duljina. Izuzetci se uglavnom odnose na odabir reflektirajućeg premaza i zaštitnog filma nanesenog preko premaza. Prilikom projektiranja optičkog sustava postoje dvije važne karakteristike materijala koji mogu utjecati na dizajn optičkog sustava, a to su vrijednost indeksa loma i disperzije zrcala. Funkcija skenirajućeg mehanizma je zapravo prosljeđivanje slike koju prima optički dio kamere do detektorskih elemenata na strogo kontroliran način. Sustavi namijenjeni za skeniranje obično pružaju jednodimenzionalno oscilirajući raspored skeniranja.



Slika 9: Shematski prikaz termovizijskog snimanja

Izradio student prema: Williams, Thomas. Thermal imaging cameras: characteristics and performance. CRC Press, 2009. str. 8

Najvažniji dio termovizijske kamere je detektor ili detektorski niz. Detektor u velikoj mjeri određuje potencijalnu toplinsku razliku između promatranog objekta ili sustava i okoline. Postoje dvije vrste infracrvenih detektora: fotonski detektori i toplinski detektori. Poluvodički materijali su sastavni dijelovi svakog fotonskog detektora.

Naboje, tj. naponske signale stvaraju fotoni koji su u izravnom doticaju s poluvodičkim materijalima. Fotonski detektori podložni su jakom zagrijavanju, tako da se konstantno moraju hladiti kako bi se održala optimalna temperaturna rezolucija. Toplinski detektor funkcionira tako da infracrveno zračenje zagrijava detektorski element, što rezultira promjenom temperature, ta temperatura se širi dalje i stvara podražaj na mehanizam koji se uzima u obzir kao bi se mogla izmjeriti zračena temperatura. Signali su najčešće naponski ili strujni. Vrijeme odziva bit će mnogo brže kod fotonskih detektora nego kod toplinskih detektora.

Toplinski detektori imaju veliku prednost jer obično ne zahtijevaju hlađenje, iako neke vrste toplinskih detektora zahtijevaju da njihova temperatura bude stalno kontrolirana kako bi se osigurao njihov rad u optimalnim uvjetima. Detektor nadalje primljeno infracrveno zračenje, uz pomoć pripadajuće elektronike, konvertira u električne signale. Te signale najčešće je potrebno pojačati i obraditi analogno-digitalnom pretvorbom jer su oni nelinearni. Pretvorba signala u svrhu obrade slike u različitim sivim ili obojenim tonovima

vrši se u računskoj jedinici uređaja (elektronički elementi). Korisnik proizvoljno bira boju termograma. Analogno-digitalna pretvorba signala nam je bitna jer prvobitni primljeni signal sadrži elektroničke šumove i druge smetnje koje mogu uzrokovati nepravilnosti i odstupanja prilikom mjerenja termovizijskom kamerom.

Slika koju generira termovizijska kamera obično se prikazuje na zasebnom vanjskom zaslonu koji može biti zaslon računala, ili na manjem ekranu u sklopu samog termovizijskog uređaja koji je dizajniram za izravno gledanje prilikom skeniranja ili kroz okular. Manji ekrani koji su implementirani u sklopu samog termovizijskog uređaja obično su tekući kristalni zasloni (LCD). Uz mnoge termovizijske uređaje dolaze i posebno dizajnirani softveri koji omogućavaju da se kamerom generirane slike analiziraju na različite načine.

Softver može biti implementiran u samu termovizijsku kameru ili može biti dizajniran za upotrebu s vanjskim računalom. Softver obično omogućava naglašavanje maksimalnih, minimalnih područja ili područja s točno određenim temperaturama. Tamo gdje se termovizijske kamere koriste u svrhu nadzora, softver može istaknuti i upozoriti na potencijalne mogućnosti nastanka kvarova.

3.3. VRSTE TERMOGRAFSKIH INFRACRVENIH KAMERA

U današnje vrijeme tehnologija se sve više razvija tako da sve malo modernije i sofisticiranije tvrtke koriste modernije industrijske ili komercijalne uređaje. Termovizijske uređaji u ovom slučaju najčešće dolaze kao kombinacija kamere u kojoj je već implementirana elektronika za obradu i prikaz parametara termograma ili kao kamera koja uz sebe dolazi s odgovarajućim softverom koji se mora instalirati na računalo kako bi se pristupilo svim parametrima koji su nam potrebni. To ovisi o potrebama tvrtke, tj. području primjene za različite djelatnosti. Općenito govoreći, termografske kamere dizajnirane su isključivo za mjerenje temperature ili kao sredstvo za nadzor, iako termografska kamera, naravno, može poslužiti i u obje svrhe istovremeno.

Termografske kamere koje se koriste kao sredstvo za mjerenje temperature, temperaturnih razlika ili temperaturnih profila primjenjuju se u brojnim industrijskim, medicinskim, pomorskim i istraživačkim djelatnostima. Dizajn uređaja mora miti takav da što točnije i preciznije mjeri temperaturu uzimajući u obzir i faktore koji mogu utjecati na točnost mjerenja (npr. emisivnost, vanjski utjecaji, itd.). Dok kod IR kamera koje se

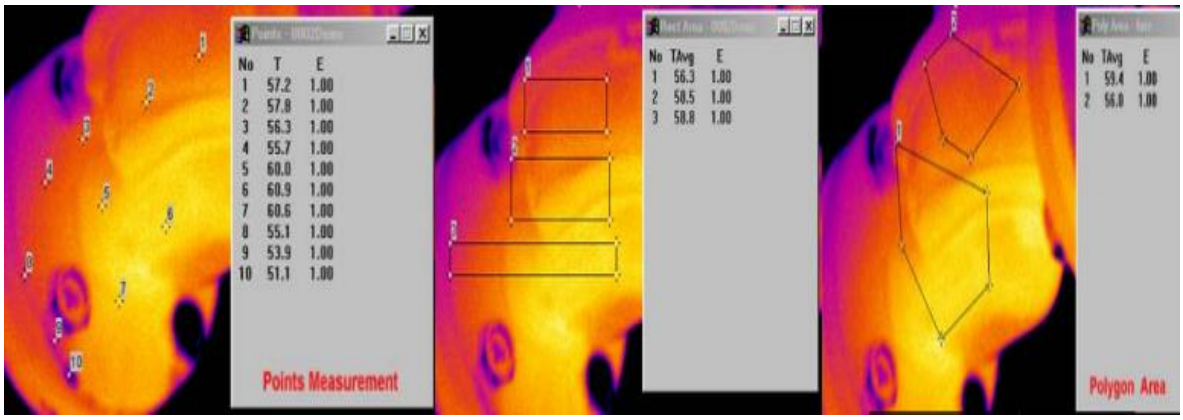
primjenjuju u nadzorne svrhe, točnost temperature nije primaran uvjet. Kamere koje se koriste u nadzorne svrhe trebaju pokrivati što veću prostornu razlučivost uz otkrivanje manjih temperaturnih razlika. Termografski uređaji često se primjenjuju na mjestima koja su stalno izložena nepovoljnim vanjskim utjecajima kao što je praćenje temperature guma na trkaćim automobilima u stvarnom vremenu ili mjerenje temperature ulja u glavnom motoru.

Komercijalne termografske kamere su također dostupne za primjenu u takvim uvjetima, no njihove specifikacije da izdrže različite razine udaraca, vibracija, prašine, ulaska vode, visoke temperature, itd. moraju biti posebno naglašene sa strane proizvođača. *FLIR Systems* je najveći svjetski tržišni lider u dizajnu, marketingu i proizvodnji sustava termografskog snimanja. Nijedan drugi proizvođač ne proizvodi više termografskih kamera od *FLIR Systems.* FLIR termografske kamere najpoznatije su po svome multi spektralnom dinamičkom snimanju (MSX) koji izdvaja istaknute visoke kontraste te značajno povećava dubinu, definiciju i kvalitetu rezolucije IR slike u realnom vremenu, bez ugrožavanja radiometrijskih podataka i bez potrebe za zasebnim digitalnim fotografijama za ostale tražene parametre.

3.4. TERMOGRAFSKE KAMERE ZA PRECIZNO MJERENJE TEMPERATURE

Termografske kamere namijenjene za precizno određivanje temperature kalibrirane su tako da korisniku pružaju očitanje temperature u realnom vremenu bilo kojeg dijela površine koju ta kamera snima, ako se izmjerena temperatura nalazi unutar referentne temperature programirane na kameri. Korisnik termografske kamere također ima mogućnost odabira različitih referentnih raspona temperature, to znači da je moguće mjeriti i niže temperature razlike tamo gdje optički sustav kamere snima područje nižeg temperaturnog raspona.

Slika koju takvi uređaji projiciraju je najčešće obojena, ali može biti i u sivim tonovima. Niske temperature prikazane su u tamno sivim tonovima, a visoke temperature u svijetlosivim tonovima (iako nekad zna biti i obrnuto). Jedan ili više pomičnih pokazivača ili fiksnih središnjih oznaka omogućavaju korisniku očitanje stvarne temperature za željeni položaj na termogramu. U postavkama termografskog uređaja moguće je podesiti da korisnik pomoću pomičnih pokazivača istakne sve dijelove slike koje se nalaze u podešenom temperaturnom rasponu.



Slika 10: Mjerenje temperature primjenom različitih pokazivača

Izvor: https://electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/electrical-engineering/thermography-inspecting

3.4.1. FLIR E4 termografska kamera

FLIR E4 termografska kamera namijenjena je za brzo snimanje temperature na relativno malim udaljenostima. Pristupačna je zamjena za infracrveni termometar, pod uvjetom da pruža termografsku sliku s informacijama o temperaturi za svaki piksel. Kako bi kvaliteta infracrvene slike bila što bolja, važnu ulogu ima temperaturna osjetljivost u kombinaciji s rezolucijom < 0.15°C od 80 x 60 piksela. Vidno polje koje obuhvaća kamera je 45° horizontalno i 34° vertikalno, a najpogodnija udaljenost za najbolju oštrinu slike je 0.5 m. S obzirom na vrstu materijala, koeficijent emisije se može podešavati na kameri u rasponu od 0.1 do 1.0.

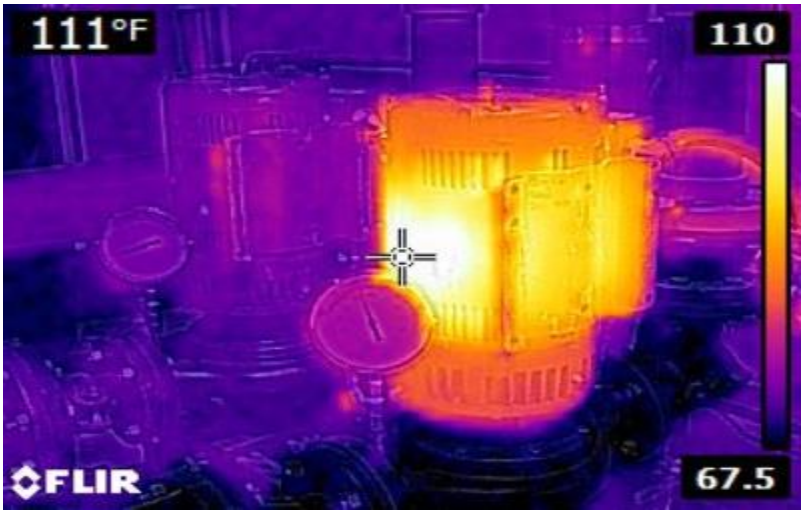
Slika 11: FLIR E4 termografska kamera

Izvor: https://www.flir.com/products/e4/

Spektralno područje koje obuhvaća njezin rad proteže se od 7.5 do 13 μm. Temperatura područja koje može mjeriti proteže se od –20°C do +250°C uz moguću grešku mjerenja u vrijednosti od 2%. Zadovoljava IP54 standard što znači da je otporna na vanjske utjecaje, padove, lomove, vibracije i slično. Sadrži LCD zaslon dimenzija 320 x 240 koji podržava sive tonove i tonove u boji. Uz LCD zaslon, pozadina uređaja obuhvaća još neke gumbe za podešavanje mjernih parametara, bojanje slike, paljenje i gašenje, itd.

Optički sustav s prednje strane zaštićen je zaštitnim staklom, a okidač bilježi radiometrijski JPEG format slike. Drška je gumirana kako bi korisniku omogućila lakši protuklizajući hvat, a na dnu se nalazi USB utor za povezivanje s računalom. Termogrami mogu biti prikazani trima različitim paletama boja: *Iron, Rainbow i crno bijela.* [5]

Sljedeća slika (slika 11.) prikazuje termogram zabilježen FLIR E4 kamerom . Riječ je o motoru pumpe u paleti boja gdje pretežno prevladavaju tonovi tamno ljubičaste boje pa sve do bistro bijele (*Iron* paleta). Stupac s desne strane prikazuje skalu temperature od 67.5°F (19.72°C) do 110°F (43.33°C). Temperatura okoline koja je obilježena tamno ljubičastom bojom predstavlja najnižu temperaturu, dok je plašt pumpe najtopliji, tj. predstavlja najvišu temperaturu bistro bijele boje. Centralni pokazivač prikazuje fokus na određeni dio plašta koji iznosi 111°F (43.89°C) što možemo iščitati iz gornjeg lijevog kuta.



Slika 12: Termogram zabilježen FLIR E4 kamerom

Izvor:
https://www.thetapestore.co.uk/media/catalog/product/cache/2/thumbnail/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/e/4/e4-pump-motor.jpg

[5] http://www.acm-bg.com/upl_doc/FLIR_IR_for_BLD_brochure_English.pdf

3.4.2. FLIR T420 termografska kamera

Za što kvalitetnije, detaljnije i sofisticiranije mjerenje koriste se FLIR kamere T serije. FLIR kamere T serije profesionalne su kamere poznate su po svojim brojnim mogućnostima koje pružaju. Najčešće korištena kamera je FLIR T420 čije je mjerno područje od -20 °C do 650 °C uz odstupanje prilikom mjerenja od 2%. Glava kamere je rotirajuća za 120° i na njoj se nalazi laserski pokazivač što znatno olakšava i povećava preciznost prilikom snimanja. Fokusiranje slike moguće je automatski ili ručno podešavati ovisno o željama korisnika. Rezolucija infracrvenog senzora je 320 x 240 piksela za što jasnije i kvalitetnije IR termograme, uz toplinsku osjetljivost rezolucije < 0,045 °C. Sadrži najnapredniji optički sustav koji omogućuje generiranje slikovnih izvješća koje imaju četiri puta više piksela i 50% manje šumova i smetnji, tako da je moguće zumirati više manjih objekata koje je moguće mjeriti točnije nego ikad prije (digitalni zoom 1x-4x). Osim uobičajenog IR snimanja, FLIR T420 kamera sadrži implementiranu 3,1MP digitalnu video kameru kako bi istovremeno uz snimanje IR slike mogla pratiti i spektar koji čovjek vidi okom. Tako je omogućen tzv. slika u slici način rada i prelijevanje vidljive IC slike u vidljivu sliku ili obrnuto (fusion mode).

Slika 13: FLIR T420 termografska kamera

Izvor: https://d2804cwrfcn5gd.cloudfront.net/image/image/data/products/flir/thermal-cameras/flir-thermal-camera-t-series-700x700.jpg

Vidno polje kamere zna varirati no najčešće iznosi 25° x 19°. Ove moderne kamere mogu istovremeno mjeriti uz pomoć pet različitih mjernih pokazivača (točkasto mjerenje, mjerenje korištenjem pravokutnih pokazivača, itd.), mogu prikazivati i do pet područja s prosječnim, minimalnim i maksimalnim vrijednostima temperatura istovremeno, kao i temperaturne intervale najviših i najnižih točaka. Moguće je čak i odabrati unutar uređaja nekakvu referentnu vrijednost temperature na temelju koje termografska kamera automatski mjeri sve približne vrijednosti te podešene temperature. Koristeći korisničko sučelje osjetljivo na dodir (LCD zaslon osjetljiv na dodir dijagonale 8,9 cm) moguće je crtati različite krugove, pokazivače pa i pisati bilješke i koristiti unaprijed definirane oblike kako bi se istakli željeni objekti prilikom samog snimanja. T420 sadrži i opcije koje omogućuju pohranu glasovnih i tekstualnih zapisa uz termogram, te se takvi zapisi pohranjuju na vanjsku memorijsku jedinicu kao što je SD kartica, na koju može stati i do 1000 takvih podataka. Osim vanjske memorijske jedinice za pohranu podataka, ovakva IR kamera koristi WiFi i bluetooth vezu radi uspostave i prijenosa podataka na računalo ili neki drugi uređaj. Podaci i video zapisi koriste standardni MPEG4 format za videe ili JPEG format za slike. Stupanj zaštite je također IP54 kao i kod prethodne kamere što znači da je dodatno zaštićena protiv prašine, lomova, padova i vanjskih utjecaja. [6]

Za nekakav oblik kratkih površinskih mjerenja ili jednokratnih i brzih mjerenja, FLIR E4 termografska kamera je najzgodnije rješenje. Dok za stručnjake koji se bave ispitivanjima energetske učinkovitosti i kvalitete i sl., termografska kamera FLIR T420 koja ima mogućnost prenositi IR video uživo na ostale uređaje, može biti poprilično koristan alat koji daje rješenja po pitanju problema vezanih za visoke računske usluge popravaka uzrokovane kvarovima nekakvih komponenti. Za složenije sustave, kao što su nekakva električna postrojenja, električni sustavi na brodovima i sl., mjerenja moraju biti što preciznija i detaljno prikazivati sve potrebne parametre. Upravo takve kamere visokih rezolucija i dubljih setova dijagnostičkih alata znatno koriste prilikom pronalaženja kvarova.

[6] https://www.flir-direct.com/product/flir-t420-infrared-camera

Tablica 2: Prikazuje komparativnu analizu FLIR E4 i T420 termografskih kamera

Tehnički podaci	FLIR E4	FLIR T420
Temperaturna rezolucija	80 × 60	320 × 240
Temperaturna osjetljivost	<0.15°C	<0.045°C
Mjerno temperaturno područje	–20 °C do 250 °C	-20 °C do 650 °C
Centralni pokazivač	Centriran/fiksiran	5 pokazivača: ručno/automatski podesivi
Vrste mjerenja	Pomoću centralnog pokazivača, bez pokazivača (snimanje bez mjerenja)	5 vrsta mjerenja
Vidno polje kamere	45° × 34°	25° × 19°
Fokus	Bez fokusa	Ručni/automatski
Min. Udaljenost za optimalnu oštrinu slike	0.5 m	0.4 m
Zaslon na dodir	Nema zaslon na dodir	Zaslon na dodir
Boje snimanja	3 vrste: *Iron, Rainbow, Gray*	7 vrsta: *Arctic, White hot, Black hot, Iron, Lava, Rainbow i Rainbow* sa jačim kontrastom
Laserski pokazivač	Ne sadrži laserski pokazivač	Sadrži laserski pokazivač
Dodatna digitalna kamera	Bez digitalne kamere	3.1 MP digitalna kamera
Digitalni zoom	Bez digitalnog zoom-a	1x-4x digitalni zoom
GPS/Kompas/WiFi	Ne sadrži ništa od navedenog	Sadrži GPS/Kompas/WiFi/Bluetooth
Memorija	Memorijska jedinica integrirana unutar same kamere	SD kartica

Izvor: Izradio student

3.5. TERMOGRAFSKE KAMERE ZA NADZOR

Termografske kamere za nadzor predstavljaju jednu vrstu uređaja od mnogih koji su svoju ranu primjenu započeli u vojne svrhe. Termografske kamere u ovom slučaju su posebno dizajnirane za zadatak koji trebaju obaviti i moraju zadovoljavati niz različitih zahtjeva vezanih za njihovu implementaciju na vozila ili plovila. Osim rane primjene u vojne svrhe ovakve kamere mogu se koristiti i za nadzor granica, lociranje ledenjaka u moru, detektiranje dima ili za traganje i spašavanje.

Prednosti termografskih kamera za nadzor:

- Kamere rade na principu pasivne termografije, to znači da nije potreban nikakav dodatni uređaj za osvjetljenje prizora. Princip rada se zapravo bazira na detekciji zračene energije unutar kamere koju plovilo, vozilo, osoba ili nekakav objekt emitira
- Gotovo je nemoguće proizvesti nekakav oblik kamuflaže koja može sakriti objekt ili osobe tako da ga termografska kamera ne uspije detektirati
- Dim i magla nemaju gotovo nikakav utjecaj na prekrivanje toplinskog zračenja koje neki objekt emitira. Ne samo što se objekti mogu vidjeti kroz značajnu razinu dima ili magle, nego se i domet koji termografske kamere hvataju, pod normalnim atmosferskim uvjetima, znatno povećava

U mnogim primjenama, posebice nekim vojnim, važne karakteristike termografskog uređaja su osjetljivost i rezolucija. Visoka osjetljivost i rezolucija obično se postiže primjenom velikih detektorskih nizova koji zahtijevaju hlađenje (zbog održavanja radne temperature). S obzirom na to da su termografske kamere koje zahtijevaju hlađenje teže, primjena prethodno navedene vrste termografskih kamera za mjerenje temperature u uvjetima koji nisu toliko zahtjevni bit će nekad i više nego adekvatna. Bitno je jedino uzeti u obzir mehaničku konfiguraciju (tj. zaštitu protiv utjecaja okoline) koja nekad treba biti posebno izrađena i postavljena. Termografske kamere za nadzor mogu se dodatno montirati unutar posebno zaštićenih kućišta, radi dodatne zaštite u nepovoljnim uvjetima, gdje je moguće daljinski kontrolirati i upravljati kućištem u svim smjerovima. Kućište naravno mora biti izrađeno od materijala koji omogućava prijenos toplinskog zračenja koje se nalazi u prilagođenim valnim duljinama.

Korištenjem softvera u kombinaciji s IR kamerom omogućava se obavljanje određenih zadataka, poput poboljšavanja kvalitete slika i kontrasta, automatskog identificiranja ciljeva kao i praćenje željenih parametara. Softver koji spaja vidljive slike (uključujući slike s kamera za noćno gledanje) s termovizijskim slikama, značajno pomaže u prepoznavanju i lociranju.

3.5.1. FLIR MD-324 termografska kamera za nadzor

Serija MD predstavlja pristupačan, kompaktan i jednostavan sustav za termovizijsko snimanje na brodu koji služi za pomoć pri upravljanju, izbjegavanju prepreka ili sudara na moru i pronalaženju ljudi prilikom traganja i spašavanja. Jednostavan je za montiranje na mjestima di je potrebno ili kao dodatna implementacija u već postojanu elektroniku. Ovakav sustav proizvodi standardni analogni videozapis koji se može lako prikazati na gotovo bilo kojem monitoru pa čak i na nekim android i iOS uređajima. FLIR MD-324 kamera zapravo pretvara manje temperaturne razlike u lako interpretirajuće infracrvene video snimke, omogućavajući što bolju vidljivost i navigaciju u potpunom mraku. Rezolucija kamere je 320 x 240, a vidno polje 24° × 18° uz optički zoom 2x. Radna temperatura kreće se od -25°C to +55°C, a domet ovakve kamere je i do 1500 m. Ovakve kamere moraju zadovoljavati razne standarde koji im određuju otpornost i izdržljivost na vanjske uvijete kao što su vjetar, pijesak, sol, hladnoća, grmljavina, itd.

Slika 14: FLIR MD-324 kamera

Izvor: https://thermogears.com/wp-content/uploads/2020/04/FLIR-MD-324-Thermal-Camera.jpg

Svim FLIR MD-324 kamerama moguće je upravljati ručno ili automatski uz pomoć *joystick* kontrolera i sve kamere ovoga proizvođača sadrže aktivnu žiro-stabilizaciju, tako da kamera uvijek pruža stabilnu sliku, čak i po najvećim valovima. Moguće je koristiti 7 paleta boja: *White-hot, Black hot, Fusion, Red Hot, Rainbow, low-light,* i *High-resolution.*

3.5.2. FLIR PT-602CZ termografska kamera za nadzor i sigurnost

FLIR PT-602CZ termografska kamera opremljena je visoko pouzdanim, hlađenim detektorom koji omogućuje nadzor objekata na srednjim i dugim dometima u svim vremenskim uvjetima. Takav detektor proizvodi oštre i detaljne termografske slike od čak 640 x 512 piksela. To omogućuje korisnicima da vide i one najmanje detalje uz najbolju moguću kvalitetu slike. Ova kamera također je opremljena snažnom mogućnošću kontinuiranog optičkog zumiranja prilikom termografskog snimanja. Nudi izvrsnu svijest o situaciji i vremenskim uvjetima u kojoj se nalazi te se na temelju navedenih uvjeta prilagođava kako bi osigurala optimalan način rada i praćenja detalja prilikom otkivanja željenog cilja. To omogućuje operatorima da pravovremeno detektiraju i reagiraju na potencijalnu smetnju koja bi mogla ugroziti sigurnost.

Prednost kontinuiranog zumiranja u usporedbi s ostalim sustavima koji koriste rotirajući sustav optičkih leća je taj što ne dolazi do zamjene ili preklapanja različitih slika, tj. moguće je postupno zumirati kameru pri čemu se zadržava jednak fokus sve vrijeme (oštrina slike se ne mijenja prilikom zumiranja). Ova kamera može zoomirati između širokog vidnog polja (28° x 21°) i uskog vidnog polja (2° x 1.5°) to znači da može detektirati osobu na udaljenosti od preko 9 kilometara ili npr. automobil na udaljenosti većoj od 15 kilometara.

PT-602CZ termografska kamera može se integrirati u postojeće mreže ili koristiti kao samostalna jedinica. PT-602CZ termografske kamere imaju precizni mehanizam za naginjanje što operatorima omogućuje okretanje kamere kontinuirano za 360° i za naginjanje +90° ili -90. Tako se drastično povećava situacijska svijest kamere. Pomicanje/nagib ima 128 unaprijed postavljenih pozicija koje operator može podešavati po volji, idealno za neprekidno skeniranje područja. Ova termografska kamera može se povezati zajedno s radarskim sustavom da rade kao jedna cjelina, ako radar detektira objekt, kamera će se okrenuti u smjeru koji naznačuje radar i dati operateru vizualnu sliku.

Svi tipovi ovakvih termografskih kamera dolaze s još jednom dodatnom običnom dnevnom digitalnom kamerom kratkog dometa koja nudi 36x optički zoom. Tvrtka FLIR razvila je moćan algoritam koji pomaže pri rješavanju problema niskog kontrasta u scenama gdje su prisutna visoke dinamične oscilacije. Napredno digitalno poboljšane detalja (*Advanced Digital Detail Enhancement – DEE*) osigurava jasan i pravilan kontrast termograma čak i u izuzetno dinamičnim uvjetima snimanja u kojima se može naći brod. Omogućuje visoku kvalitetu termografskog snimanja u bilo kojem noćnom ili dnevnom okruženju.

Automatsko fokusiranje ove vrste kamere pruža jasne i detaljne slike pritiskom na gumb. Prilikom povećavanja i smanjivanja slike (*zoom in/out*) fokus ostaje isti. Sustav omogućava najbolju svijest o situaciji uz jednaku kvalitetu prepoznavanja detalja u širokom vidnom polju, kao i u uskom vidnom polju. PT-602CZ može se integrirati u bilo koju postojeću TCP/IP mrežu, nisu potrebni nikakvi dodatni kablovi, i pomoću te konfiguracije moguće je pratiti sve aktivnosti bez obzira na udaljenost.

Slika 15: FLIR PT-602CZ termografska kamera

Izradio student prema: https://pdf.directindustry.com/pdf/flir-systems/flir-pt-602cz/7945-513769.html

Tablica 3: Prikazuje komparativnu analizu FLIR MD-324 i PT-602CZ termografskih kamera

Tehnički podaci	FLIR MD-324	FLIR PT-602CZ
Temperaturna rezolucija	320 x 240	640 x 512
Vidno polje kamere	24º x 18º	Široko - 28º x 22,4º Usko- 2° x 1.6°
Fokus/ Digitalni zoom	3,6 m fiksno/ 2x	Bez fokusiranja, beskonačno kontinuirano/ 12x
Optički zoom	Ne sadrži	36x
Raspon podešavanja nagiba kamere	+34°, -27°	360°
Mrežni video izlaz (TCP/IP)	Ne sadrži	Sadrži
Raspon radne temperature	-25°C to +55°C	-32°C to +55°C
Domet snimanja	Do 6 km	Upotrebom uskog vidnog polja i do 15.5 km
IP zaštita	IPx6	IP66
Dodatna digitalna kamera	Ne sadrži	Full HD 1080p
Obrada slike	FLIR algoritam za napredno digitalno poboljšane detalja	FLIR algoritam za napredno digitalno poboljšane detalja
Automatski grijači za čišćenje leda na kameri	Ne sadrži	Sadrži
Rezolucija video snimanja	QVGA do VGA	Termografskom kamerom: QVGA do VGA Digitalnom kamerom: VGA do HD

Izvor: Izradio student

4. PROGRAMSKA PODRŠKA

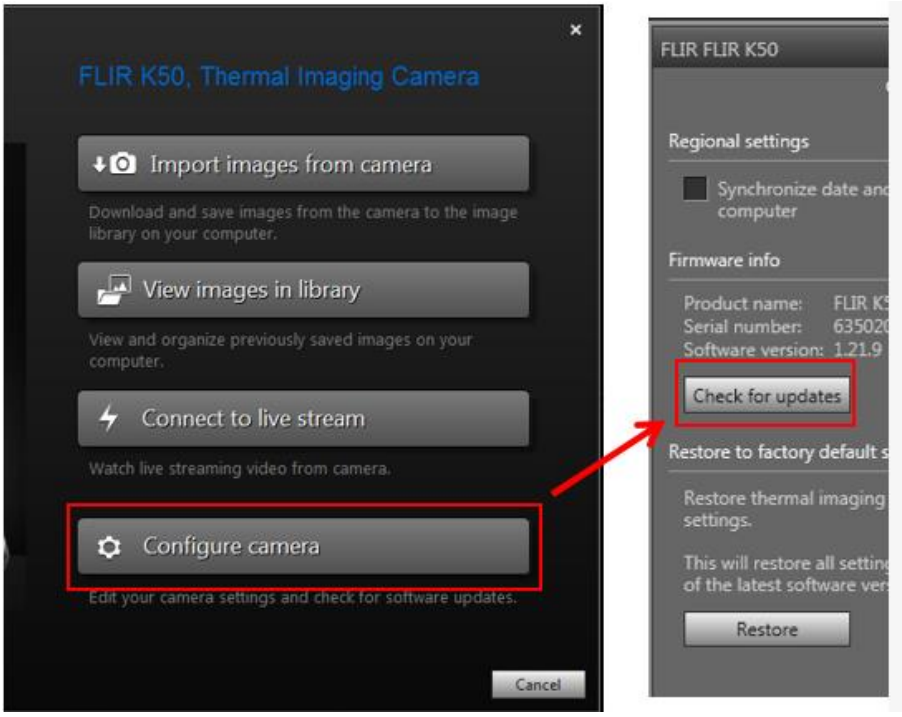
Uz svaku kupljenu FLIR kameru dolazi i odgovarajući profesionalni softver koji je moguće instalirati samo ako korisnik ima pripadajuću aktivacijsku licencu. *FLIR Tools* je moćan i besplatan softverski alat koji omogućuje brzo prebacivanje, analizu i uređivanje termografskih slika, te kreiranje profesionalnih izvješća o provedenoj inspekciji sustava u obliku PDF datoteke na računalu ili čak pametnom telefonu. Uz pomoć *FLIR Tools* alata moguće je:[7]

- Prenijeti termografske slike s kamere na računalo
- Primjenjivati filtere prilikom pretraživanja slika
- Postavljati, pomicati i mijenjati veličinu parametara za mjerenje na bilo kojoj infracrvenoj slici
- Grupiranje i razvrstavanje datoteka
- Stvaranje panoramskih slika spajanjem nekoliko manjih slika u veću
- Stvaranje PDF/Microsoft Word slikovnih tablica i izvještaja po izboru
- Dodavanje zaglavlja i podnožja na termografskim slikama
- Ažuriranje termografske kamere s najnovijim softverom
- Konvertiranje termografskih formata datoteka (.csq i .seq) u video formate kao što su .mp4, .avi, itd.

FLIR tools je softver koji se jednostavno može instalirati putem web stranice *FLIR systems* ili CD/DVD-a koji je priložen uz kupnju kamere. Prije pokretanja samog alata, bitno je povezati termografsku kameru na računalo putem WiFi-a ili USB-a. Nakon pokretanja alata otvara se dijaloški okvir s četiri ponuđene funkcije. Prva funkcija omogućuje prikaz svih termografskih slika na kameri i njihov prijenos na računalo. Druga funkcija omogućava prikaz biblioteke slika, tj. albuma slika koji mogu biti grupirani prema datumu snimanja, imenu, vrsti datoteke ili veličini. Treća funkcija omogućuje pokretanje termografske FLIR kamere i tako korisniku pruža prijenos uživo koji se može pratiti na računalu ili pametnom telefonu. Zadnja funkcija služi za provjeru verzije FLIR alata, ako je ona zastarjela moguće ju je ažurirati.

[7]http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf

Ista funkcija također omogućava provjeru zadnje verzije same kamere, ako je i verzija kamere zastarjela alat omogućava da se stara verzija zamijeni s novijom.



Slika 16: FLIR Tools dijaloški okvir

Izvor: http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf

Sve videozapise i slike zabilježene uz pomoć FLIR kamere moguće je analizirati i prikazati na računalu uz pomoć FLIR alata u posebnom dijaloškom okviru. Ako kamere imaju više mapa, one će biti vidljive u lijevom kutu dijaloškog prozora. Dok se u desnom kutu nalazi nekoliko potvrdnih okvira pomoću kojih je moguće izvršiti neke od navedenih radnji: [8]

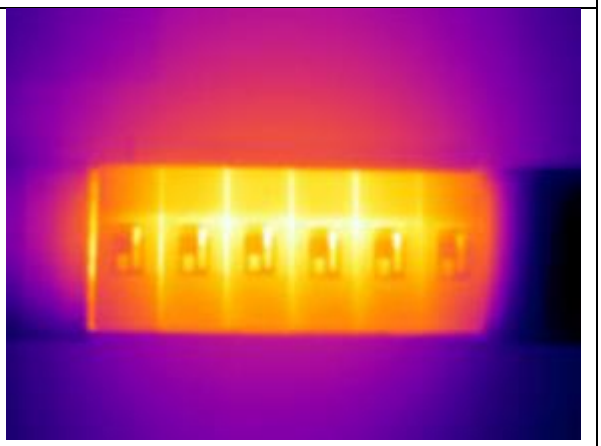
- Sakriti već prenesene datoteke na računalo
- Izbrisati datoteke koje su prenesene na računalo
- Poboljšajte razlučivost slike (*UltraMax*)
- Spajanje fotografija (*Fusion*)
- Izradite sigurnosnu kopiju izvornih slika prije poboljšanja

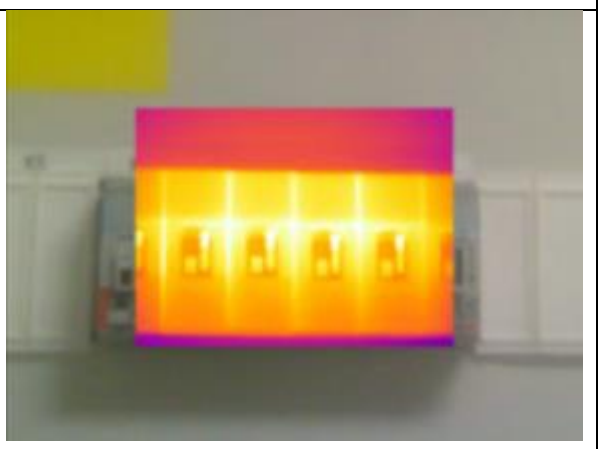
[8] http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf

UltraMax je značajka za poboljšanje slike koja povećava rezoluciju slike i smanjuje smetnje, čineći manje predmete lakšim za mjerenje i promatranje. Kad se UltraMax slika zabilježi kamerom, pohranjuje se nekoliko sličnih slika u istoj datoteci. Snimanje svih slika može potrajati do jedne sekunde.

Kako bi se dovršio prijenos slika i videozapisa s termografskih kamera, bitno je odrediti ili stvoriti novu mapu u koju će se te datoteke pohranjivati. Skuplje i modernije kamere podržavaju takozvane multispektralne slike, svaka pojedina termografska slika može koristiti jedan ili više od navedenih načina rada – *MSX, thermal fusion, thermal blending, slika u slici* i slika digitalne kamere. Iz multispektralnih slika moguće je izdvojiti sliku koja snimana običnom digitalnom kamerom.

Tablica 4: Prikazuje različite modove slike

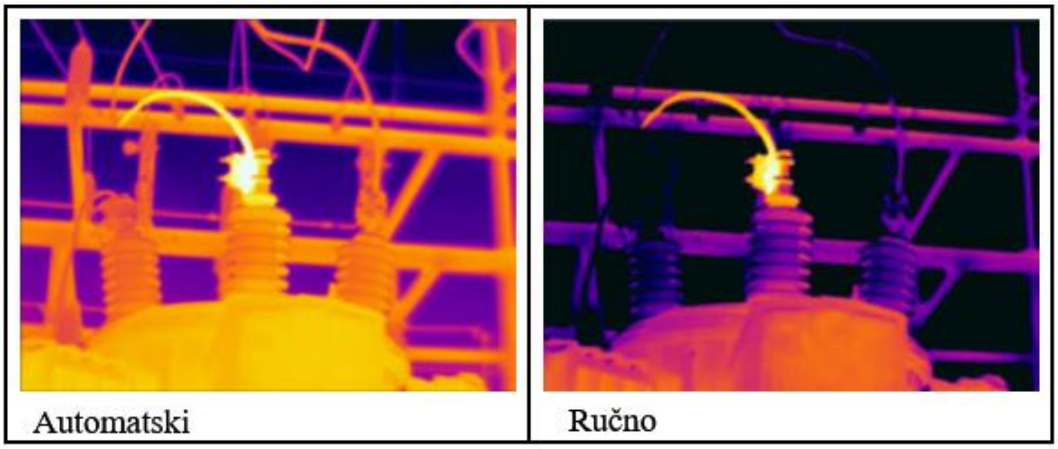
Gumb	**Način rada**	**Primjer slike**
	MSX: U ovome načinu rada termografska slika sadrži istaknute visoke kontraste, tj. znatno je poboljšana kvaliteta slike. Može se vidjeti da je naljepnica svakog osigurača čitljiva	
	Thermal: Ovaj način rada prikazuje potpunu infracrvenu sliku	

	Thermal fusion: U ovome načinu rada pojedini dijelovi slike termografske kamere prikazani su u infracrvenom spektru, ovisno o temperaturnim granicama	
	Slika u slici: U ovom načinu rada infracrvena slika se preslikava preko digitalne slike	
	Digitalna kamera: Prikaz slike koja je u cijelosti zabilježena digitalnom kamerom	

Izvor: Izradio student

Na dnu infracrvene slike može se vidjeti klizni izbornik koji je najčešće automatski prilagođen. Ako ga ručno povlačimo lijevo ili desno moguće je mijenjati temperaturnu razinu ljestvice što rezultira boljim termalnim kontrastom. To je bitno zato što ručna promjena temperaturne razine olakšava analizu temperaturnih anomalija (odstupanja). Osim pomicanja kliznog izbornika, moguć je i upis točno određenih brojčanih vrijednosti za minimalnu i maksimalnu željenu temperaturu.

Sljedeća slika prikazuje dvije infracrvene slike izolatora u dalekovodu. Kako bi bilo lakše analizirati promjenu temperature u izolatoru, temperaturna ljestvica na desnoj slici ručno je prilagođena tako da odgovara vrijednostima temperature izolatora kako bi termalni kontrast bio što bolji, a time i identifikacija mogućeg problema točnija.



Slika 17: Promjena temperaturne razine

Izvor:
http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf

Uz pomoć FLIR alata moguće je mijenjati način na koji su boje raspodijeljene na IR slici. Drugačijom raspodjelom boja znatno se olakšava detaljnija analiza slike. Najčešća metoda koju koriste većina termografskih kamera je histogram izjednačavanje. Ako snimamo neko manje područje koje ima relativno visoku temperaturu u odnosu na hladniju okolinu, histogram izjednačavanje može osigurati optimalan toplinski kontrast. Na temelju vrijednosti temperature ili piksela moguće je linearizirati ljestvicu boja uz pomoć signalnog i temperaturnog ravnala.

Pomoću alarma u boji (izotermi), anomalije se lako mogu detektirati na infracrvenoj slici. Naredba za primjenu izoterme nalazi se u alatnoj traci unutar dijaloškog okvira FLIR alata, ona primjenjuje kontrastnu boju na sve piksele s temperaturom koja se nalazi iznad, ispod ili između određene temperaturne vrijednosti. Izoterme se također koriste još i za otkrivanje izolacijskih poteškoća ili područja zahvaćena vlagom. Za mjerenje temperature možete koristiti jedan ili više mjernih alata, npr. pokazivač u obliku točke, pravokutni pokazivač, kružni pokazivač ili linijski pokazivač. Kada na sliku dodate alat za mjerenje, izmjerena temperatura bit će prikazana desno od slike.

Prilikom prijenosa infracrvenih slika s kamere u *FLIR Tools,* program će uvažiti sve postojeće markere, tj. vrijednosti temperatura označenih bilo kakvom vrstom pokazivača. Međutim, ako treba dodati još koji marker prilikom analize slike, to se postiže: Desni klik miša → *Local min/max/avg marker*. Desno od slike nalazi se alatna traka za podešavanje reflektirane temperature, emisivnosti, prostorne rezolucije i slično.

Točnost mjerenja temperature nam je veća što su nam točnije vrijednosti upisnih parametara. Ako korisnik snima različite materijale na istoj slici, tada lokalni parametri mogu biti od presudne važnosti. Korištenjem napomena moguće je pohraniti dodatne informacije na termografsku sliku. Napomene i bilješke upotpunjuju izvješćivanje i naknadnu obradu, tako što pružaju bitne informacije o IR slici, npr. uvjeti i informacije o mjestu snimanja slike.

Neke termografske kamere omogućuju dodavanje napomena izravno prilikom snimanja, npr. bilješke, tekstualni ili glasovni zapisi, skice i slično. Spajanjem termografske kamere ili priključivanjem memorijske jedinice na računalo, *FLIR Tools* može prikazati naziv ulaza na računalu. Tekstualnu napomenu kao .tcf datoteku moguće je povući u samu kameru putem FLIR alata ili jednostavno *coppy-paste* metodom kopirati. Tek kad je prijenos obavljen, moguće je iskopčati ulaznu jedinicu i započeti s pohranom tekstualnih predložaka. Tekstualna napomena je zapravo tekstualna informacija o nečemu što se nalazi na slici i čini ju jedan par informacija – oznaka i vrijednost.

FLIR Tools nudi mogućnost spajanja nekoliko manjih slika u jednu veću, tj. stvaranje panoramskih slika tako što analizira svaku sliku zasebno kako bi otkrio uzorke piksela koji se podudaraju s uzorcima piksela na drugim slikama.

4.1. MOGUĆNOST ZAPISA I IZVJEŠTAJA

U desnom kutu dijaloškog okvira FLIR alata nalazi se padajući izbornik *Options* → *Report* te nam se otvara novi dijaloški okvir za kreiranje izvješća. Unutar novoga dijaloškog okvira moguće je priložiti željeni logo koji će se nalaziti na vrhu izvješća, željeni tekst koji se može nalaziti u podnožju ili zaglavlju stranica izvješća. Veličina stranica izvješća također se može prilagoditi potrebama korisnika (A4 format, format pisma, itd.). Osim osnovnih parametara (emisivnost i reflektirana temperatura) koji su uvijek prisutni prilikom izrade izvješća, korisnik može odabrati i prikaz svih parametara kao što su vrijeme i datum zabilježene IR slike, vrsta kamere, napomene i slično.

Kod suvremenih kamera korisniku je također omogućeno da iz MSX slike izvuče digitalnu vizualnu sliku kamere i priloži ju na izvješće zajedno s infracrvenom slikom. Drugi korak prilikom daljnjeg kreiranja izvješća odnosi se na odabir željenih slika. Uz pomoć gumba *SHIFT* moguće je odabrati grupu slika koje želimo prenijeti na izvješće, ili korištenjem gumba CTRL moguće je unutar određene mape odabrati pojedinačne nasumične slike. Iznad slika koje korisnik odabire nalazi se gumb *Generate report* i padajući izbornik u obliku strelice okrenute prema dole koja nudi različite predloške za kreiranje izvješća. Nakon što korisnik odabere željeni predložak, klikom na prethodno spomenuti gumb *Generate report* kreira se izvješće koje sadrži sve podatke mjerenja, termografske slike, logo, parametre, bilješke i tekstualne napomene.

Unutar kreiranog izvješća moguće je dodatno upisivati bilješke i dodavati strelice koje, npr. naznačuju objekt koji potencijalno stvara problem. Ako korisnik klikne pokazivačem na termografsku sliku, s desne strane prikazat će se dodatne opcije kao što su:

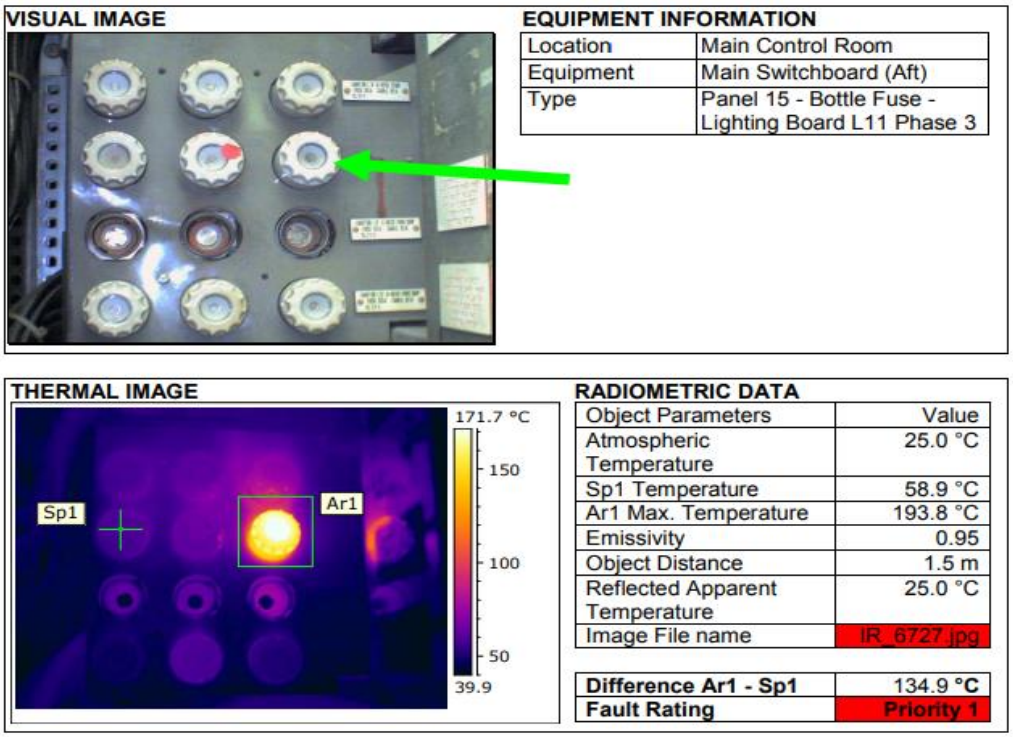
- Skrivanje i prikazivanje podataka mjerenja
- Skrivanje i prikazivanje podataka koji se nalaze na vanjskim rubovima termografske slike (serijski brojevi, vrijeme i datum, model kamere, itd.)
- Sakrivanje i prikazivanje temperaturne ljestvice

Iako je izvješće kreirano, IR slike su i dalje aktivne što znači da korisnik može pomicati pokazivače koji nam određuju temperaturu. Samim time, ako pomičemo pokazivače, vrijednosti izmjerenih temperatura u tablicama će se automatski mijenjati. Ako korisnik dva puta klikne pokazivačem na IR sliku, otvorit će se prozor za uređivanje sličan onome uređivaču izvornih slika, samo što promjene koje se izvode na slici iz izvješća neće utjecati na izvornu sliku koja uvezena s kamere na *FLIR Tools.*

U donjem lijevom kutu nalazi se još jedan padajući izbornik koji omogućuje, dodavanje naslovne stranice ili stranice sa sadržajem. U već stvoreno izvješće moguće je dodavati još predložaka i u njih postavljati IR slike. Nakon pohranjivanja izvješća na memoriju računala, izvješću se uvijek može kasnije pristupiti te ga uređivati.

Gumb *Export* omogućuje kreiranje izvješća u PDF formatu, izvješće u ovome formatu nije moguće uređivati u FLIR alatu jer je namijenjeno prvenstveno za dijeljenje izvještaja drugim korisnicima.

Sljedeća slika prikazuje primjer izvješća prilikom inspekcije glavne kontrolne sobe broda



Slika 18: Primjer izvješća

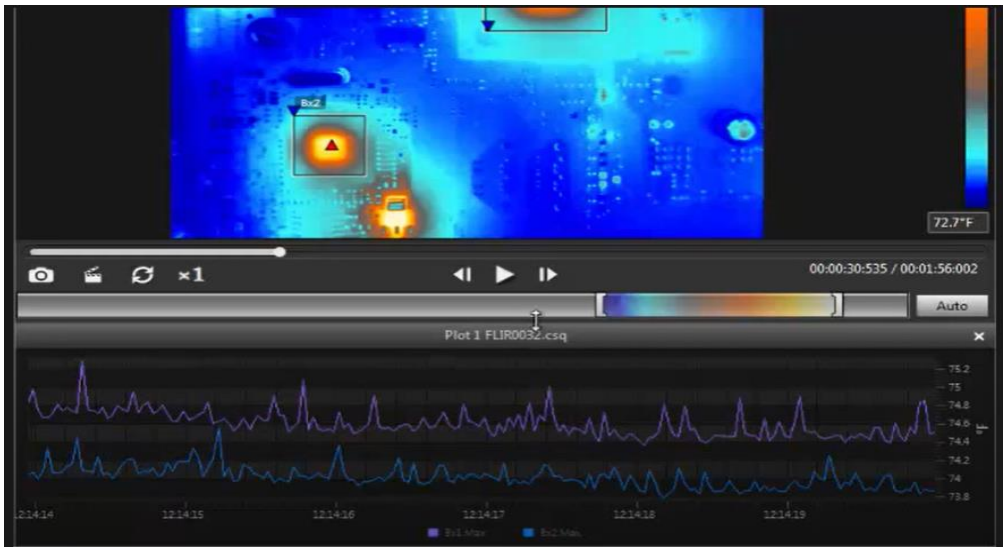
Izvor:
https://www.pixelthermographics.co.uk/_literature_142048/Electrical_Marine_Thermal_Imaging_Survey_Sample_Report

Putem navedenog termograma moguće je vidjeti znatno povišenje temperature na nosaču osigurača. Uzrok porasta temperature može uključivati kontakt osigurača s prljavom vodom, olabavljen ili loše postavljen osigurač ili istrošeni spoj iza glavnog prekidača. Preporučuje se uklanjanje nosača i zamjena osigurača, također provjeriti da li su sve površine čiste i ponovno ugraditi nosač osiguravajući da je sve čvrsto spojeno.

4.2. PRODUCIRANJE I ANALIZA RADIOMETRIJSKIH VIDEOZAPISA (.SEQ I .CSQ)

Neke modernije termografske kamere mogu snimati radiometrijske videozapise na SD memorijsku karticu, tj. termografska mjerenja prikazana su kao grafički prikaz promjene temperature u jedinici vremena. Takav format datoteka pohranjuje u obliku .CSQ datoteka. FLIR alat se također koristi za analizu ili reprodukciju takvih videozapisa. SEQ datoteke mogu se također pronaći se unutar *FLIR tools-a* zajedno s ostali termografskim slikama i izvještajima. Jednostavno dvostrukim klikom kursora na željenu .CSQ ili .SEQ

datoteku korisniku se omogućava analiza i obrada, tj. moguće je vidjeti izmjerenu temperaturu, mijenjati vrijednost koeficijenta emisije, mijenjati temperaturnu ljestvicu, zapisivati tekstualne napomene, prilagođavati palete boja i slično.



Slika 19: Prikaz .CSQ i .SEQ datoteka

Izvor: https://i.ytimg.com/vi/kgpeBEQv79E/hqdefault.jpg

Na dnu alatne trake nalazi se gumb za pokretanje videozapisa, gumb za pomicanje određenog kadra unaprijed ili unazad, gumb za slikanje određenog kadra videozapisa u .jpg formatu, a u donjem desnom kutu nalaze se informacije o trajanju videozapisa, vrijeme i datum, vrsta kamere, itd. Tipka x1 služi za kontroliranje brzine kojom će se video zapis reproducirati, moguće je podešavanje do -/+ x60 u odnosu na originalnu brzinu. Gumb međuspremnika omogućuje konvertiranje .CSQ videozapisa u .avi format radi lakšeg dijeljenja videozapisa s ostalim korisnicima.

Bitna značajka ovakvih datoteka je to što ovakvi videozapisi omogućavaju kreiranje grafova. Desnim klikom na bilo koji mjerni pokazivač otvara se izbornik, klikom pokazivača na *Plot*, korisniku se nudi padajući izbornik pomoću kojega može kreirati graf koji prikazuje maksimalnu, minimalnu ili prosječnu temperaturu koja se mijenja tijekom trajanja videozapisa. Grafovi se iscrtavaju ispod videozapisa bez ponovnog reproduciranja videozapisa. Na istome grafu mogu se prikazati više od samo jedne funkcije, ovisno o tome koliko mjernih pokazivača sadrži snimka samo se ponovi isti postupak za sljedeći mjerni pokazivač itd. Grafovi se mogu iz FLIR alata kopirati kao slika ili kao temperaturni podaci i zalijepiti u druge programe za daljnju analizu (MS Excel).

4.3. KOMUNIKACIJA UŽIVO BRODSKE TERMOVIZIJSKE KAMERE I BRODSKE ALARMNE CENTRALE

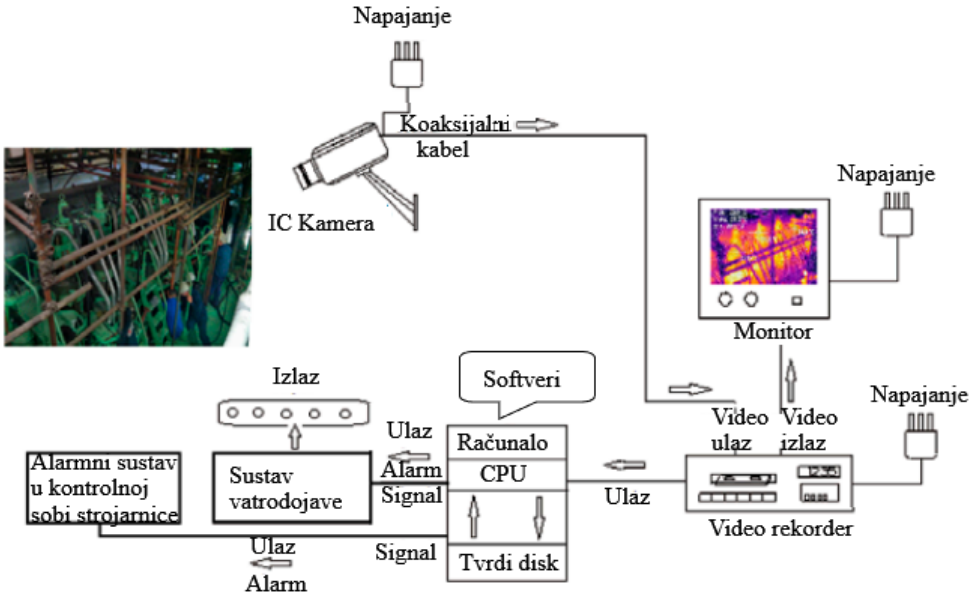
Jedna od glavnih prednosti termografskog snimanja je zapravo mogućnost detektiranja moguće opasnosti od požara nastale zbog povećanja temperature na brodskim objektima ili sustavima. Kako bi se to spriječilo, tj. omogućila pravovremena detekcija požara, razvijene su nove elektroničke i računalne tehnologije kao dio brodskog sustava poput računalnog vida, implementacija termovizijskih kamera i korištenje već postojećeg brodskog CCTV sustava. CCTV sustav pruža vizualnu analizu određenih područja na bordu i pripadajućih objekata na njemu, na takav sustav moguće je instalirati različite softverske aplikacije, pri čemu on postaje sustav vatrodojave. Tako sustav ima mogućnost predviđanja i slanja ranih upozorenja na brodsku alarmnu centralu čime znatno poboljšava sigurnost na bordu i dugotrajnost brodske opreme.

Niz istraživanja pokazuje da je 80% brodskih požara uzrokovano ljudskim faktorom. Statistički gledano 1/4 nesreća na brodu događa se zbog požara i eksplozija. U prosjeku od svakih 10 godina dogodi se barem 20 većih brodskih požara najčešće uzrokovanih požarom u strojarnici. Troškovi popravaka kreću se u iznosu od milijun dolara do 5 milijuna dolara za teretne brodove, a za putničke brodove još i više. Konvencija o zaštiti ljudskih života na moru (International Convention for the Safety of Life at Sea) poznata kao SOLAS konvencija, svojim pravilima definira da maksimalna temperatura na površini strojeva, komponenta i dijelova u strojarnici boda ne smije prelaziti 220 °C.[9] Kako bi se spriječio nastanak i razvoj požara na površinama s temperaturom iznad 220 °C, te površine se moraju izolirati.

Curenje ulja ili goriva u strojarnici te njihov kontakt s vrućim površinama glavni je uzrok većine požara i eksplozija. SOLAS također definira niz propisa koji određuju vrstu zaštite za određene elektroničke i električne komponente, jedan od tih propisa odnosi se upravo na primjenu termovizije i termovizijskih kamera.

Sljedeća slika prikazuje model sustava koji služi za detekciju mogućih incidenata uzrokovanih požarom.

[9] M. Bistrović, P. Ristov, D. Komorčec, Scient. Journ. of the Marit. Univ. of Szczecin, 50, 122, pp. 23–29 (2017)



Slika 20: Model sustava za detekciju promjene temperature

Izradio student prema: Bistrović, Miroslav, Pančo Ristov, and Domagoj Komorčec. "Prediction of potential fire hot spots by using a model based on a computerized real-time view with IR cameras on ships." Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie (2017). str. 27

Princip rada temelji se na prikupljanju snimki i podataka u realnom vremenu pomoću termovizijskih kamera, ti prikupljeni podaci se zatim obrađuju i analiziraju uz pomoć softverskih programa i algoritama unutar računala i dalje se distribuiraju putem centralne jedinice CCTV sustava što na kraju rezultira generiranjem signala upozorenja, a zatim i alarma koji ukazuje na znatno povećanje temperature iznad dopuštene razine.

Termografsko snimanje u kombinaciji s brodskim alarmnim sustavom uveliko pomaže pri održavanju sigurnosti na brodu i sprječavanju mogućih požara pomoću monitora koji automatski prikazuje brzu i preciznu lokaciju prekomjernog zagrijavanja objekta ili sustava.

Glavne značajke ovakvog modela sustava jesu: [10]

[10] Bistrović, Miroslav, Pančo Ristov, and Domagoj Komorčec. "Prediction of potential fire hot spots by using a model based on a computerized real-time view with IR cameras on ships." Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie (2017). str. 2
7

- Uz analizu i obradu termografskih slika, alarmni sustavi mogu pružati zvučne ili vizualne signale
- U kombinaciji s PLC-om moguće je kreirati još napredniji termovizijski sustav
- Moguće je određivanje točnih temperaturnih razina kada će se alarm oglasiti za neki pojedini sustav, objekt ili površinu
- Moguće je mjeriti više dijelova (područja) neke površine istovremeno
- Analiza porasta temperature s ciljem identifikacije postojećih problema prije nego što se alarm oglasi
- Reprodukcija video zapisa i brzo pretraživanje video zapisa po datumu kako bi se otkrio uzrok i mjesto požara

Termovizijske kamere mogu se ugrađivati na razne pozicije na bordu i njihov ugradbeni položaj od velike je važnosti prilikom snimanja objekata. U kombinaciji s brodskom alarmnom centralom i sustavom vatrodojave, navedeni model predstavlja značajnu pomoć. Sve današnjih vlasnika brodova zahtjeva ovakav model sustava radi smanjenja rizika i povećavanja sigurnosti na brodu, sukladno tome sustavi za zaštitu od požara glavni su faktor pri projektiranju brodova (posebno putničkih brodova) u današnje doba.

5. PRIMJENA TERMOVIZIJE NA BRODU

U današnje komercijalne brodove sve više se ugrađuju napredniji i veći strojevi, s velikim i proširenim električnim instalacijama. Gotovo je nemoguće provesti vizualnu inspekciju rada takvih sustava bez nekakvih naprednijih i sofisticiranijih uređaja. Glavni izvor problema na brodu je nastanak požara ili eksplozija zbog nepravilnog rada uređaja ili istrošenosti električnih instalacija. Kao što je već navedeno u prethodnom poglavlju, prema SOLAS-u je definirao da maksimalna temperatura na površini strojeva, komponenta i dijelova u strojarnici boda ne smije prelaziti 220 °C.

Brodski motori i generatori iz dana u dan postaju sve složeniji i upravljaju sve većim brojem električnih ili elektroničkih komponenti pa zbog toga raste i potreba za što češćim pregledom i održavanjem. Termografske kamere predstavljaju najbolje rješenje u pogledu brodskih inspekcija jer omogućuju beskontaktno mjerenje i pregled sustava uz mogućnost pohrane točne temperaturne vrijednosti uz odgovarajuće vizualne dokaze. Osim toga, ovakav način mjerenja znatno ubrzava vrijeme potrebnih inspekcija što je izuzetno važno u pomorskim djelatnostima. Prije ili kasnije, sve električne instalacije po prirodi

razvijaju greške. Te su greške na brodovima uzrokovane vibracijama i zbog nekvalitetnog održavanja i popravaka posade i/ili brodogradilišta, ali mogu biti uzrokovane i zbog pogrešne ugradnje.

Korištenjem termografskih kamera, te greške se mogu otkriti i prije nego što postanu opasne za brod, posadu i putnike. Termovizija se može primijeniti i kao alat za inspekciju u svim vrstama instalacija, tj. za pregled osigurača, kontakata, pločica, kabelskih vodova i ostalih električnih komponenata. Tipična područja uz koja se veže pojam termografskog snimanja su: rasklopne ploče u strojarnici, generatori u slučaju nužde, kuhinje, praonice, klima uređaji i ventilatori, dizala, potisnici, razdjelnici snage i svjetla, itd. Termografska ispitivanja električnih instalacija moguća su dok sustavi rade, bez izazivanja skupih zastoja. Ova metoda rješavanja problema je najisplatljivija, a u nekim kritičnim situacijama i jedina dostupna metoda.

Za komercijalne i tehničke rukovoditelje, ovaj način inspekcije će znatno smanjiti dodatne moguće troškove. Još jedna bitna prednost termovizije je ta što na nikakav način ne ometa rad broda. Kako bi uvjeti inspekcije bili što bolji, brodski motori moraju raditi pri normalnom opterećenju i temperaturi. Tri do četiri satno putovanje punom brzinom i u stanju punog opterećenja idealno je za snimanje jasnih slika brodskih električnih i pogonskih sustava.

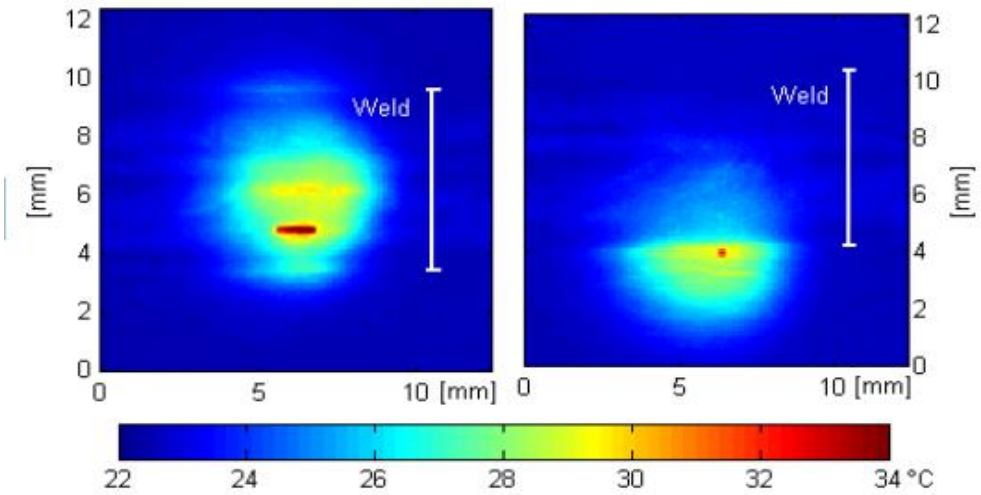
5.1. PRIMJENA TERMOVIZIJE ZA ODREĐIVANJE KVALITETE KONSTRUKCIJE BRODA

U svijetu brodogradnje koriste se napredne nerazorne metode ispitivanja koje osiguravaju kvalitetu konstrukcije brodova. Na poznatom tehnološkom institutu Masdar u Abu Dabiju održavaju su specifična istraživanja gdje se primjenjuje termografija za izgradnju plovila i vozila. Tamo, istraživači vide ovu tehnologiju kao posebno korisnu zbog njezine neograničene primjene. Brodovi su gotovo uvijek izloženi teškim vremenskim uvjetima, tj. teškom radnom okruženju. Kako bi se osigurala što bolja kvaliteta gradnje bitno je provesti niz nerazornih tehnoloških ispitivanja i bitno je zadovoljiti niz sigurnosnih protokola. Kvaliteta gradnje u konačnici uvijek određuje radni vijek, učestalost održavanja, trošak i pouzdanost. Primjena termografskog snimanja predstavlja nerazornu metodu ispitivanja koja znatno pospješuje detekciju nedostataka i krive implementacije.

5.1.1. Kvaliteta zavarivanja

Prva primjena termovizije vezana je za kontrolu kvalitete zavarivanja. Kvaliteta zavarivanja je jedan od glavnih faktora koji se moraju uzeti u obzir prilikom gradnje broda. Bilo da se radi o točkastom zavarivanju, MIG zavarivanju ili zavarivanju trenjem, tehnika se uvijek bazira na pouzdanom spajanju bar dva komada metala. Općenito, kvaliteta zavarivanja najčešće se ispituje vizualnim pregledom, laganim tapkanjem čekića po zavarenoj površini kako bi se provjerilo da li su se metalni rubovi pravilno spojili. Međutim, na ovaj način testiranje kvalitete je subjektivno.

Termografsko snimanje nudi objektivniji način. U osnovi, za što bolju kvalitetu zavarivanja potrebno je metal zagrijati jednoliko do temperature taljenja. Zato praćenje temperature vara može biti dobar pokazatelj čvrstoće. Slikanjem zavarene površine termografskom kamerom, korisnik dobiva termogram ili termografski videozapis na kojem se može vidjeti kako temperatura varira kroz i uz var. Kako bi se pukotina (var) mogla vidjeti IR kamerom, bitno ju je najprije zagrijati nekakvom toplinskom uzbudom. Sljedeća slika prikazuje pukotinu osvijetljenu jakom svjetlošću, visokog intenziteta.



Slika 21: Pukotina osvjetljenja jakim intenzitetom svjetla

Izvor: Broberg, P. (2013). Surface crack detection in welds using thermography. NDT & E International, 57, 69–73.

Metali najčešće reflektiraju veliku količinu svjetlosti zbog slabe emisivnosti i apsorpcije. Iako je apsorpcija relativno mala, apsorbirana svjetlost metala će ipak lagano zagrijavati površinu. Ako svjetlost uđe u pukotinu, ona će se reflektirati više puta u njoj

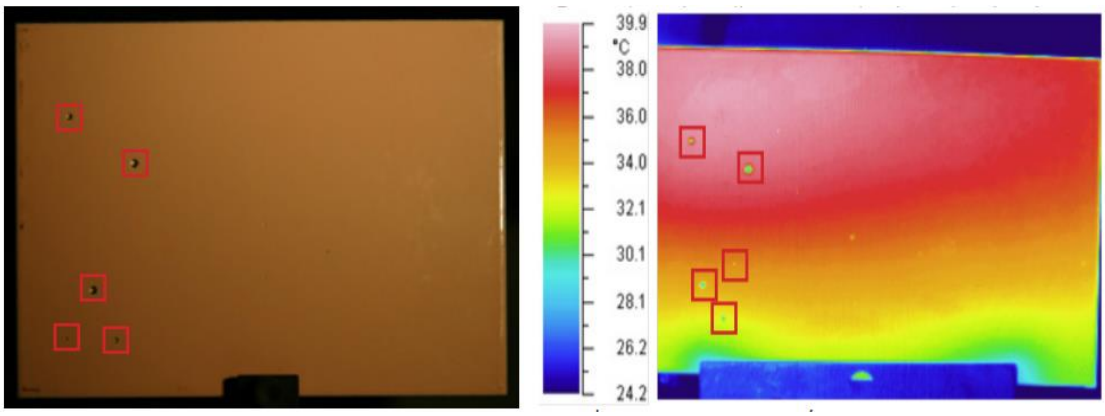
prije nego što izađe van. Tako će ta energija zagrijati pukotinu, tako da će temperatura pukotine biti znatno viša od temperature okoline.

5.1.2. Primjena termovizije u bojanju brodskih površina

Još jedna prednost termografskog snimanja je mogućnost prikaza temperaturnih profila velikih brodskih površina pri čemu se znatno može olakšati proces praćenja prilikom farbanja brodova. Termografsko snimanje primjenjuje se već dugo i u automobilskoj industriji tako što termografske kamere nadziru postupak farbanja korištenjem robota. Farbanje se pretežno odnosi na farbanje automobilskih rezervoara tankim zaštitnim premazima na bazi vode.

Sukladno tome, prilikom izgradnje brodova termografija se koristi za otkrivanje mjesta koja nisu obojena, najčešće u balastnim spremnicima. Termografska snimanja otkrivaju neobojena mjesta u različitim veličinama zbog različite emisivnosti i različitih toplinskih svojstva površina koje kamere snimaju. Termografija se također može koristiti i kao dopuna pri ostalim metodama mjerenja ili snimanja kao što su, npr. fluorescentna snimanja, gdje je obojeni materijal prilikom snimanja sjaji pod ultra ljubičastom svjetlošću. Termografsko snimanje moguće je implementirati u kombinaciji sa sustavom za farbanje te tako znatno olakšava nadzor samoga procesa. Tako je moguće odmah vidjeti koje su površine već oslikane a koje dijelove treba preraditi i prefarbati.

Sljedeća slika prikazuje dio broda ofarban zaštitnim premazom, s nekoliko namjerno izostavljenih dijelova koji nisu prefarbani i termografski obrađenu istu sliku.



Slika 22: Vizualni i IR prikaz zaštitnog premaza broda

Izvor: https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_006/RND_006_EN.pdf

Osim nadzora prilikom farbanja brodskih površina, termovizija omogućuje i detekciju oštećenja ili korozije ispod već prefarbanih brodskih površina bez prethodnog uklanjanja boje. To je moguće zato što se neke nijanse boja nalaze unutar infracrvenog spektra.

Poznato je da tankeri ponekad imaju pune balastne takove nafte pri povratku s Bliskog Istoka, ali kad se ide prema tom odredištu ti tankovi su napunjeni slanom vodom kako bi se održala ravnoteža broda prilikom putovanja. Problem je u tome što je morska voda visoko korozivna i može s vremenom oštetiti boju ili tank, tako da se primjenom termovizije može vidjeti gdje je korozija bez uklanjanja boje.

5.2. PRIMJENA TERMOVIZIJE PRI ANALIZI STANJA ELEKTRIČNIH MOTORA

Termografske kamere se također primjenjuju za rješavanje problema na motorima, tj. za nadzor stanja motora u svrhu preventivnog održavanja prilikom proizvodnje električne energije ili pokretanja broda. Radno stanje motora može se otkriti termografskim snimanjem njihove prividne površinske temperature. Vođenje točne evidencije stanja motora može uveliko pomoći, kako ne bi došlo do nepredviđenih kvarova. Kvarove na motorima često se mogu otkriti raznim inspekcijskim tehnikama, npr. mjernim instrumentima, ultrazvukom, termografskim snimanjem i slično. Vršenje redovitih inspekcija, koje uključuje termografsko snimanje, je od ključne važnosti jer je tako moguće odrediti da li je površina motora na nekom djelu prekomjerno zagrijana ili može jednostavno poslužiti kao alat za provjeru ako su prethodno provedeni popravci bili uspješni.

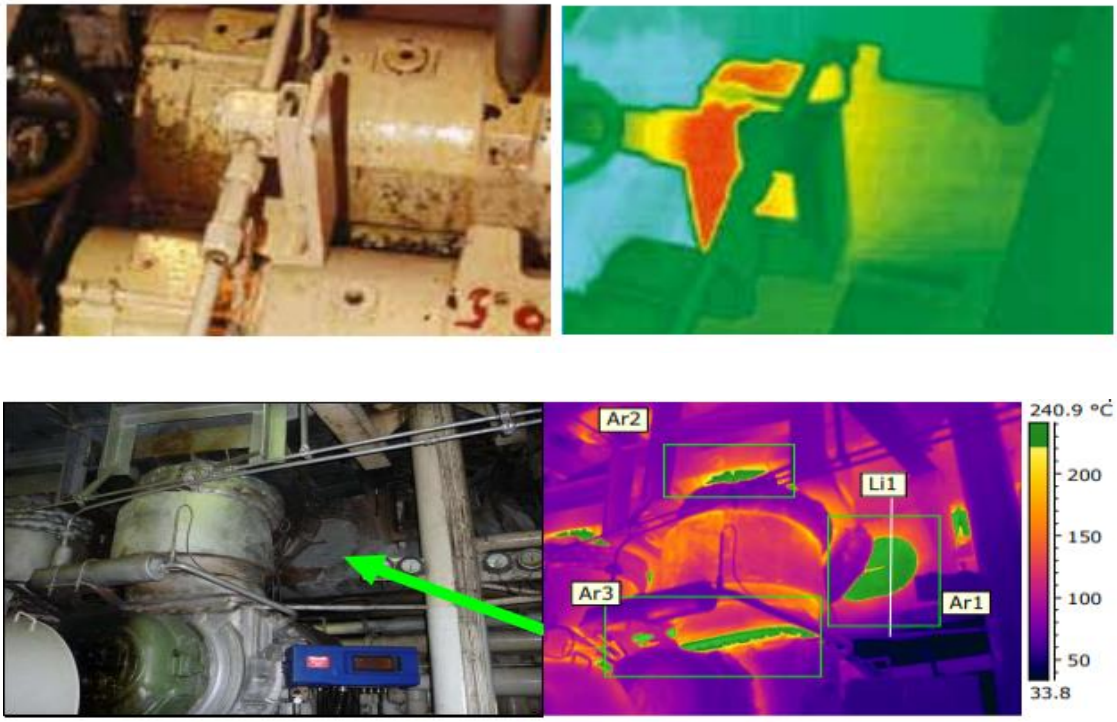
Svi motori trebaju na nazivnoj pločici imati navedenu normalnu radnu temperaturu. Temperatura površine, snimana termografskom kamerom, zapravo je pokazatelj kolika je unutarnja temperatura motora. Kako motor postaje sve topliji iznutra, tako i temperatura na površini također raste. Iskusni termografi, koji dobro poznaju motore, bi trebali pomoću termografskih kamera bez problema detektirati uzrok kvara poput nedovoljnog protoka zraka, istrošenog ležaja, problem sa spajanjem osovine ili propadanja izolacije u rotoru ili statoru motora, itd.

Najveći prioritet prilikom popravka treba se odnositi na komponente koje predstavljaju sigurnosni rizik. Svaki motori ima definiranu maksimalnu radnu temperaturu i definirano maksimalno moguće odstupanje. Prema dizajnu, većina motora ne može raditi

na sobnoj temperaturi koja prelazi 40 °C. Porast svakih 10 °C iznad nazivne temperature obično skraćuje vijek motora na pola.

Uzroci prekomjernog zagrijavanja motora mogu biti:[11]

- Nedovoljan protok zraka. Ako je moguće, potrebno je isključiti motor dovoljno dugo da se može na njemu izvršiti manje čišćenje na rešetkama za dovod zraka
- Neuravnotežen napon ili preopterećenje. Najčešći uzrok je pojava visokog otpora u rasklopnom uređaju
- Predstojeći kvar ležaja. Kada termografske snimke pokažu pregrijavanje ležaja, bitno je poslati zahtjev za održavanje ili samostalno podmazati ili zamijeniti ležaj
- Kvar izolacije. Ako neće pretjerano utjecati na rad drugih sustava, bitno je smanjiti radnu snagu motora i napraviti nalog za zamjenu motora što prije moguće
- Neskladnost osovine. U većini slučajeva analizom vibracija potvrdit će se neusklađeno spajanje.

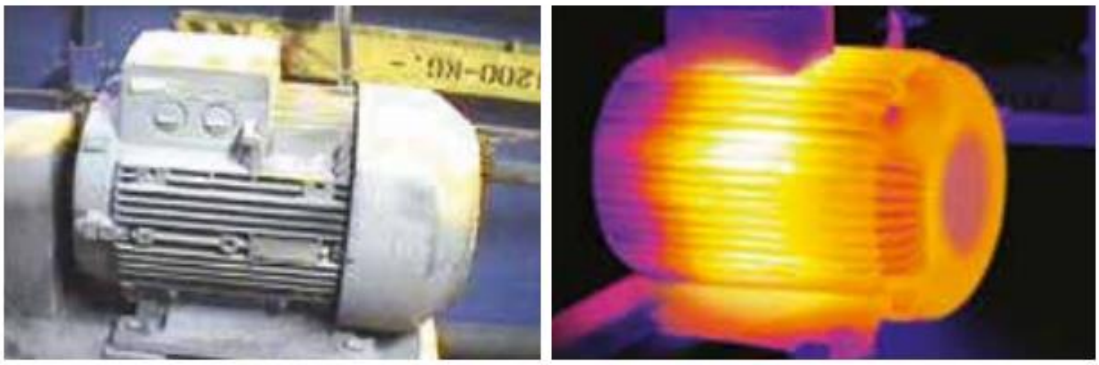


Slika 23: Kvar ležaja i oštećenje izolacije

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf

[11] https://www.fluke.com/en/learn/blog/thermal-imaging/the-importance-of-troubleshooting-electrical-motors-with-infrared-cameras

Prilikom otkrivanja problema termografskom kamerom, bitno je dokumentirati podatke u softveru same kamere ili računala kako bi se moglo kreirati izvješće. Izradom raznih termografskih izvješća znatno se olakšava otkrivanje i otklanjanje problema.



Slika 24: Nedovoljan protok zraka

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf

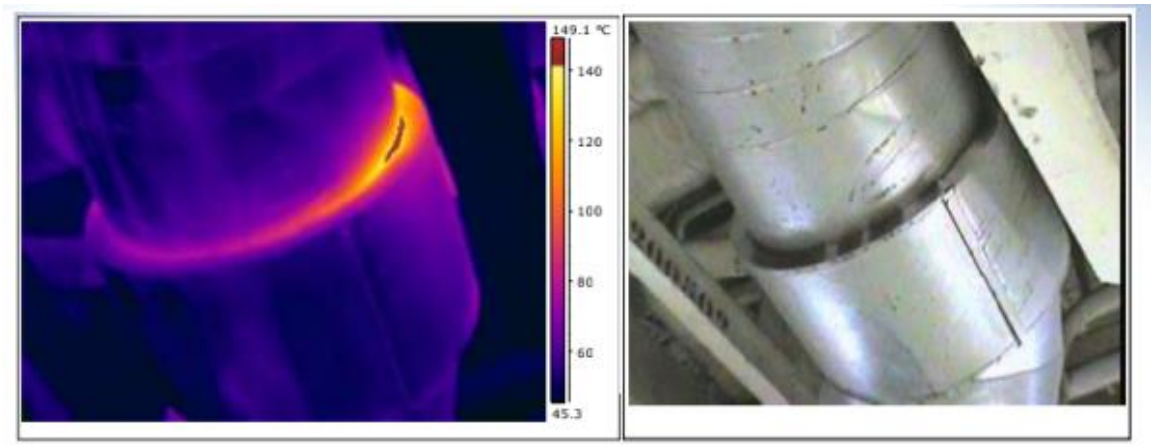
5.3. PRIMJENA TERMOVIZIJE PRI ANALIZI STANJA CJEVOVODA I VENTILA

Ispitivanje stanja izolacijskog materijala koji okružuje cjevovod može biti od presudne važnosti. Gubici topline zbog neuspjele izolacije će se vrlo jasno vidjeti primjenom termografskih kamera, pri čemu se znatno može ubrzati popravak izolacije i time značajno spriječiti gubitke energije ili druge štete. Procesni ventili predstavljaju još jedan sastavni dio cjevovoda koji se često pregledava termografskim kamerama. Osim otkrivanja da li ventil pušta, termografska kamera može se koristiti i za određivanje da li je ventil otvoren ili zatvoren iz daljine.

Kvarovi cjevovoda koji se mogu vidjeti primjenom termografskih kamera:[12]

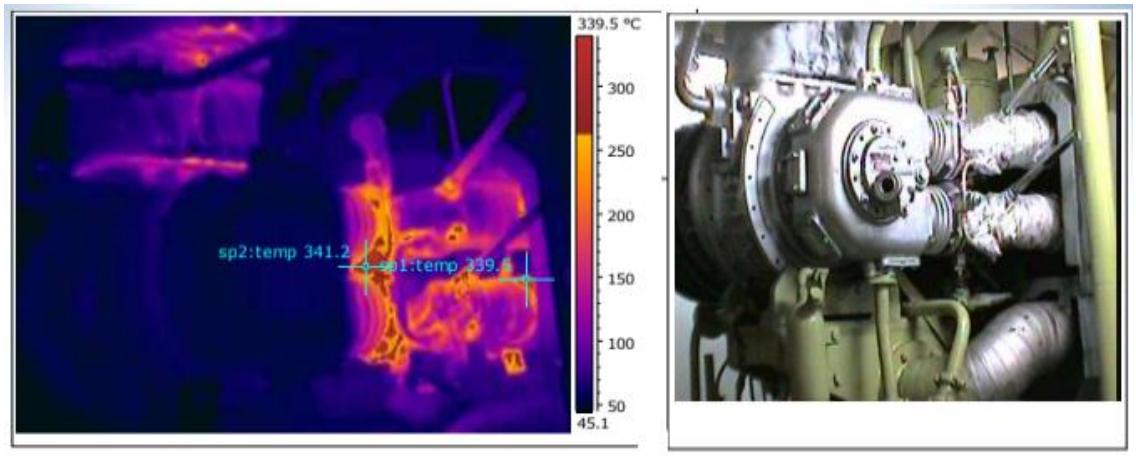
- Popuštanje pumpi, cijevi i ventila
- Kvarovi i oštećenja izolacije
- Blokada cijevi i ventila

[12] http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf



Slika 25: Propuštanje ispušne cijevi brodskog dizel generatora

Izvor: https://www.transam.gr/paradeigmata



Slika 26: Preopterećena izolacija razvodnika

Izvor: https://www.transam.gr/paradeigmata

Sve vrste propuštanja, blokirane cijevi i neispravna izolacija bit će vidljiva na termografskim snimkama ili slikama. Termografsko snimanje omogućuje pregled cijele instalacije i svih cjevovoda, tako da se ne treba provjeravati svaku cijev pojedinačno.

5.4. PRIMJENA TERMOVIZIJE U ANALIZI BRODSKIH ELEKTRIČNIH SUSTAVA I UREĐAJA

Najšira primjena termovizijskog snimanja odnosi se na inspekciju električnih sustava i elektroničkih komponenata u svim veličinama i oblicima. Primjena termografskih kamera može se podijeliti na dvije kategorije: primjena na visokonaponske instalacije i niskonaponske instalacije.

Toplina je važan faktor u instalacijama visokog napona. Kada električna struja prolazi kroz otporni element, on generira toplinu. Povećana otpornost rezultira povećanjem topline. Tijekom vremena će se otpor električnih spojeva povećati, npr. zbog korozije. Prekomjerni porast u temperaturi može izazvati kvar pojedine komponente ili čak cijelog sustava, što dalje rezultira neplaniranim probojima struje i napona ili čak ozljedama. Pored toga, energija potrošena na stvaranje topline uzrokuje nepotrebne gubitke. Ako se takvi spojevi ostave bez nadzora duži period, temperatura može čak porasti do točke u kojoj se spojevi tope i raspadaju zbog čega mogu izbiti požari.

Primjeri kvarova u visokonaponskim instalacijama koji se mogu detektirati termografskim kamerama su:[13]

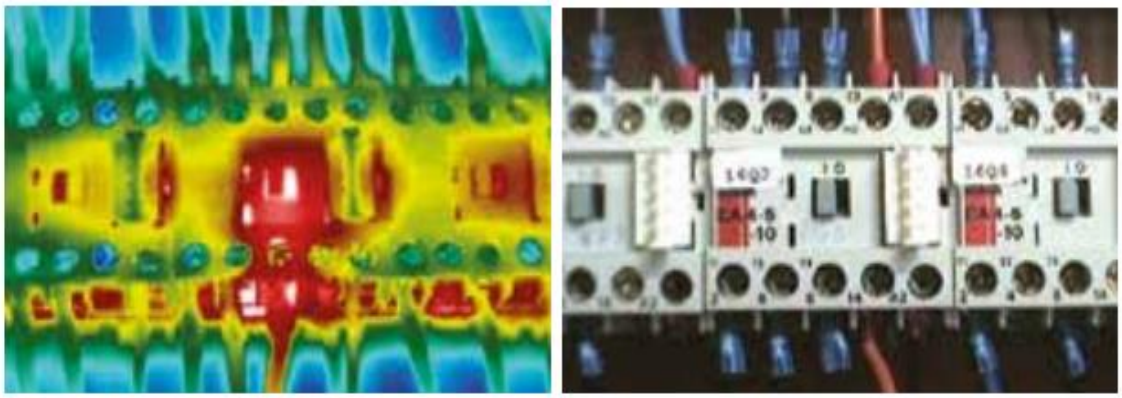
- Oksidacija visokonaponskih sklopki
- Pregrijane veze i spojevi
- Nepravilno osigurani spojevi
- Kvarovi i greške izolacije

Ovi primjeri kvarova i neki drugi kvarovi mogu se uočiti u početnoj fazi uz pomoć termografskih kamera. Još jedna od mnogih prednosti korištenja termografskog snimanja je mogućnost izvođenja inspekcija dok su električni sustavi pod napajanjem.

Termografske kamere koriste se za inspekciju električnih sustava i komponenata u svim veličinama i oblicima i njihova upotreba ni na koji način nije ograničena. Električni ormari i kontrolne jedinice motora redovito se snimaju termografskim kamerama. Osim olabavljenih priključaka, električni sustavi trpe i neravnomjerno raspoređena opterećenja, koroziju i povećanje električne impedancije. Primjeri kvarova u niskonaponskim instalacijama koji se mogu detektirati termografskim kamerama su:[13]

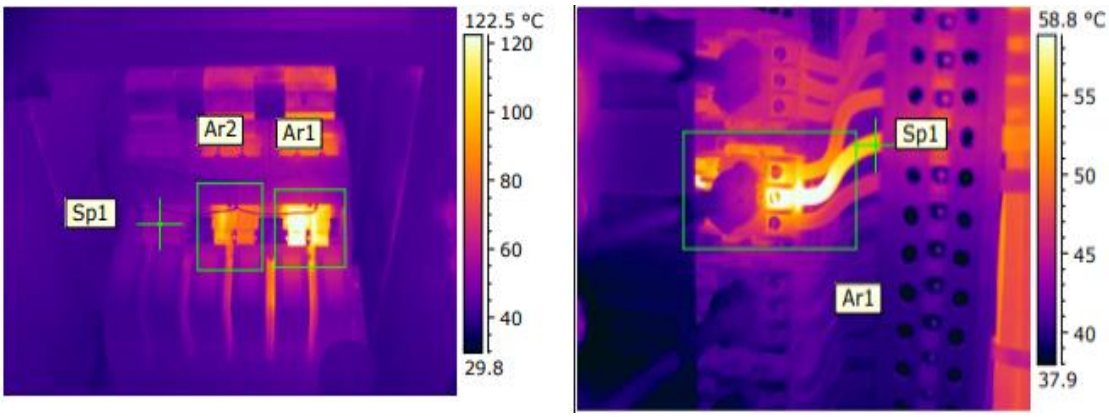
- Spojevi velikog otpora
- Korozija na vezama i spojevima
- Oštećenja unutar osigurača
- Greške unutar prekidača
- Loši spojevi i unutarnja oštećenja

[13] http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf



Slika 27: Termogram osigurača koji je u kratkom spoju

Izvor: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_EN.pdf



Slika 28: Porast temperature zbog loših ili prljavih spojeva

Izvor:
https://www.pixelthermographics.co.uk/_literature_142048/Electrical_Marine_Thermal_Imaging_Survey_Sample_Report

5.4. PRIMJENA TERMOVIZIJE U ANALIZI NAFTNIH MRLJA I DETEKCIJI LEDENJAKA

Otkrivanje izlijevanja nafte temelji se na temperaturnoj razlici, toplinskoj refleksiji i toplinskoj emisivnosti između nafte i mora. Nafta ima veću toplinsku vodljivost nego more i stoga će brže apsorbirati toplinu okoline i sunca tijekom dana. Zbog tog svojstva naftnu mrlju najlakše je detektirati uz pomoć termografskih kamera. Noću vrijedi obrnuta logika, naftna mrlja će brže gubiti toplinu od okolne vode, te će se termografskom kamerom mrlja prikazivati tamnijim bojama. Još jedan faktor omogućava otkrivanje

naftnih mrlja, a to je razlika u emisivnosti. Iako je emisivnost različita za različite tipove nafte, općenito se uzima u obzir da je emisivnost nafte niža nego emisivnost mora.

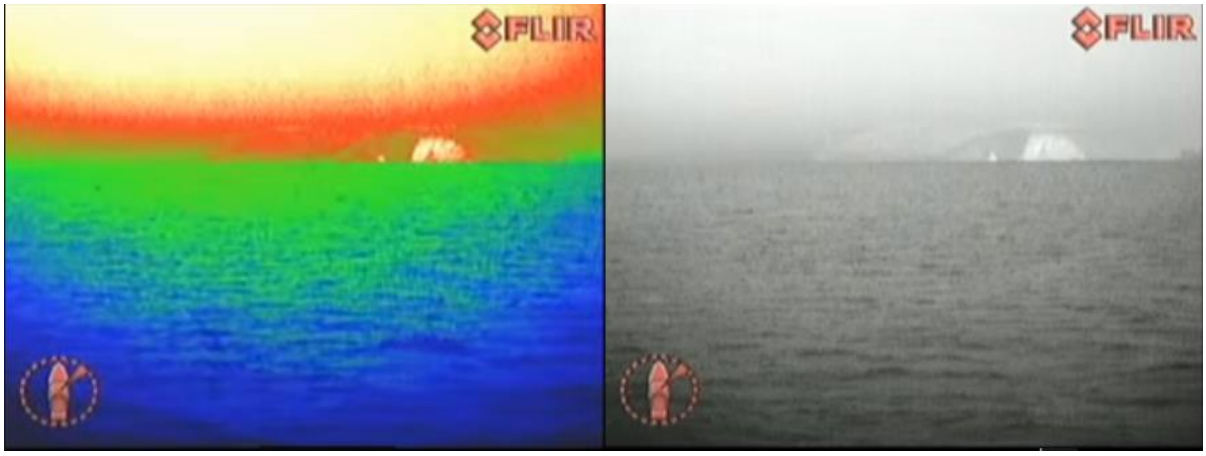
Tako termografske kamere mogu vidjeti izlijevanje nafte i u potpunom mraku što je vrlo važno jer postoji ograničeno vrijeme u kojem se mora skupiti nafta prije nego što ona potone, otopi se ili ispari. Izlijevanje nafte može se vidjeti ne samo termografskim kamerama, već kroz dim, prašinu ili laganu maglu.

Termografske kamere ne moraju se nužno koristiti samo u trenutku nesreće. One se mogu koristi i kao alat za praćenje prijenosa nafte iz skladišnih tankova s kopna u skladišne tankove na brodu ili obrnuto. Također ih se može primijeniti i kao alat za obalnu stražu ili lakše snalaženje u navigaciji broda po mraku.

Slika 29: Izlijevanje nafte

Izvor: https://i.ytimg.com/vi/tBSvRX2iFJk/maxresdefault.jpg

Navigacija tankera u otvorenim morima i oceanima zna često biti vrlo teško i izazovno. Još opasnije i teže postaje kada se u takvim morima nalaze veliki ledenjaci. Brodske kompanije sve su više zabrinute za sigurnost tankera u morima i oceanima u kojima postoji potencijalna opasnost od sudara s ledenjacima što rezultira razvojem opreme koja može pomoći u otkrivanju ledenjaka u arktičkom području s velikih udaljenosti. Ledenjake nije lako detektirati ni primjenom radara, čak ni manje dijelove leda osobito pri teškim vremenskim i morskim uvjetima gdje se radar nekad ne zna razlikovati ledenjake ili valove.



Slika 30: Detekcija ledenjaka korištenjem dvije različite palete boja

Izvor: http://www.flirmedia.com/maritime/application-stories.html

Kako bi se detekcija ledenjaka poboljšala, termografske kamere za nadzor koriste se u interakciji s brodskim radarima. Takav način primjene bitan je pogotovo za nadzor u dugim polarnim noćima gdje je vrlo teško detektirati potencijalne opasnosti zbog nedostatka svjetlosti ili smetnji (magla, snijeg, i slično) koje ograničavaju vizualnu navigaciju.

6. ZAKLJUČAK

Čovjek prirodnim putem ne može vidjeti neke promjene koje se dešavaju oko njega, upravo taj problem je bio početni razlog koji je doveo do razvoja današnjih termografskih kamera. U današnje vrijeme termovizija je zrela i široko prihvaćena glavna tehnološka grana. Termovizija je zajedno s elektrotehnikom, medicinom, kemijom i drugim znanostima u konstantnom razvoju, i svakim se danom pronalaze sve bolja rješenja.

Primjena termovizije na brodovima znatno olakšava inženjerske preglede električnih i mehaničkih sustava, tj. primjenom termografskih kamera prilikom snimanja određenih sustava nikad nije bilo lakše prikupiti i odrediti fizikalne pojave, mjerne parametre temperatura, i svojstva promatranih materijala. Osim mjerenja sustava unutar broda, termografija se koristi i kao bitan alat prilikom navigacije ili nadzora broda, kako bi se otkrila kakvoća morske površine ili onečišćenje opasnim tvarima. Ovaj rad upravo govori kako termovizija na brodu može, uz veliku uštedu novaca, imati glavnu ulogu u održavanju sigurnosti i pouzdanosti pomorskih objekata. Smatram da termografske kamere i imaju svoje nedostatke kao što su ometanje preciznosti mjerenja zbog nejednolike emisivnosti i refleksije drugih površina, većinom sadrže odstupanja od ±2% (nisu precizne kao kontaktne metode mjerenja), i mogu opažati samo površinske temperature, dakle potrebno je i poznavati sustave koje se mjeri da bi se sa sigurnošću ustanovio uzrok kvara. No bez obzira na neke od navedenih nedostataka, termografski uređaji predstavljaju alat koji se danas primjenjuje u svim djelatnostima.

LITERATURA

[1.] Williams, Thomas. Thermal imaging cameras: characteristics and performance. CRC Press, 2009.

[2.] Minkina, Waldemar, and Sebastian Dudzik. Infrared thermography: errors and uncertainties. John Wiley & Sons, 2009.

[3.] Prakash, Raghu, ed. Infrared thermography. BoD–Books on Demand, 2012.

[4.] Bistrović, Miroslav, Pančo Ristov, and Domagoj Komorčec. "Prediction of potential fire hot spots by using a model based on a computerized real-time view with IR cameras on ships." Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie (2017).

[5.] Litwa, Mariusz. "Influence of angle of view on temperature measurements using thermovision camera." IEEE Sensors Journal 10.10 (2010): 1552-1554.

[6.] Pašagić, Vladimir, Marijan Mužević, and Dubravko Kelenc. "Infrared thermography in marine applications." Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike 59.2 (2008): 123-130.

[7.] Bistrović, M. (2016). Prilog povećanju učinkovitosti brodskoga vatrodojavnog sustava primjenom novih elektroničkih računalnih tehnologija (Disertacija).

[8.] Gaussorgues, Gilbert, and Seweryn Chomet. Infrared thermography. Vol. 5. Springer Science & Business Media, 1993.

[9.] Jadin, Mohd Shawal, et al. "Image processing methods for evaluating infrared thermographic image of electrical equipments." Proceedings of the Progress in Electromagnetics Research Symposium. 2011.

INTERNET LITERATURA

[1.] http://www.flirmedia.com/maritime/brochures.html

[2.] https://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/Kulturna%20bastina_Svaic.pdf

[3.] https://en.wikipedia.org/wiki/Thermographic_camera

[4.] https://www.fluke.com/en/products/thermal-cameras

[5.] https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/infrared-thermography-as-a-non-destructive-tool-for-materials-characterisation-and-assessment

[6.] https://www.pixelthermographics.co.uk/marine-thermal-imaging

[7.] https://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/Infracrvena%20termografija_Vjezbe_FSB_Boras.pdf

[8.] https://www.plantservices.com/articles/2012/12-bringing-anomalies-light-irinspection/

[9.] https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/41/matecconf_diagnostyka2018_01027.pdf

[10.] http://www.nbn.at/fileadmin/user_upload/Vertretungen/FLIR/Software/FlirTools/FLIR_Tools-Tools-Plus_6.0_Manual_t810209-en-us_a4-1702-nbn-mobile.pdf

[11.] https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_006/RND_006_EN.pdf

[12.] https://www.securitysales.com/surveillance/history-of-thermal-imaging/2/

[13.] https://pdf.directindustry.com/pdf/flir-systems-7945.html

[14.] https://www.flir.com/marine/thermal-vision/

[15.] http://www.flirmedia.com/MMC/CVS/Appl_Stories/AS_0055_EN.pdf

[16.] https://www.pixelthermographics.co.uk/_literature_142048/Electrical_Marine_Thermal_Imaging_Survey_Sample_Report

[17.] https://www.pilothousemarineservices.com/thermal-imaging.html

[18.] http://www.enu.fzoeu.hr/data/prircert.pdf

KAZALO KRATICA

WiFi – Wireless Fidelity

PDF - Portable Document Format

FOV - Field of view

LCD - Liquid Crystal Display

MSX - Multi-Spectral Dynamic Imaging

IR – Infrared

CCTV - Closed-circuit television

SOLAS - The International Convention for the Safety of Life at Sea

MIG - Metal Inert Gas

CD - Compact disc

DVD - Digital Versatile Disc

IP54 - Ingress Protection Code 54

JPEG - Joint Photographic Experts Group

USB - Universal Serial Bus

SD - Secure Digital

DDE - Digital Detail Enhancement

VGA - Video Graphics Array

QVGA - Quarter Video Graphics Array

HD – High Quality

ε – Emisivnost

FLIR – Forward-looking infrared (cameras)

POPIS TABLICA

Tablica 1: Procjena temperature plamena temeljem boje termograma 10
Tablica 2: Prikazuje komparativnu analizu FLIR E4 i T420 termografskih kamera 25
Tablica 3: Prikazuje komparativnu analizu FLIR MD-324 i PT-602CZ termografskih kamera 30
Tablica 4: Prikazuje različite modove slike 33

POPIS SLIKA

Slika 1: Vidljivi spektar zračenja 5
Slika 2: Distribucija zračene energije povećanjem valne duljine za četiri različite temperature 6
Slika 3: Aktivna termografija 8
Slika 4: Pasivna termografija 9
Slika 5: Greška snimanja uzrokovana refleksijom 11
Slika 6: FLIR T630sc-25 prijenosna IR kamera 15
Slika 7: Prva IR kamera 16
Slika 8: Blok dijagram termovizijske kamere 16
Slika 9: Shematski prikaz termovizijskog snimanja 18
Slika 10: Mjerenje temperature primjenom različitih pokazivača 21
Slika 11: FLIR E4 termografska kamera 21
Slika 12: Termogram zabilježen FLIR E4 kamerom 22
Slika 13: FLIR T420 termografska kamera 23
Slika 14: FLIR MD-324 kamera 27
Slika 15: FLIR PT-602CZ termografska kamera 29
Slika 16: FLIR Tools dijaloški okvir 32
Slika 17: Promjena temperaturne razine 35
Slika 18: Primjer izvješća 38
Slika 19: Prikaz .CSQ i .SEQ datoteka 39
Slika 20: Model sustava za detekciju promjene temperature 41
Slika 21: Pukotina osvjetljenja jakim intenzitetom svjetla 44
Slika 22: Vizualni i IR prikaz zaštitnog premaza broda 45
Slika 23: Kvar ležaja i oštećenje izolacije 47

Slika 24: Nedovoljan protok zraka 48
Slika 25: Propuštanje ispušne cijevi brodskog dizel generatora..... 49
Slika 26: Preopterećena izolacija razvodnika 49
Slika 27: Termogram osigurača koji je u kratkom spoju 51
Slika 28: Porast temperature zbog loših ili prljavih spojeva 51
Slika 29: Izlijevanje nafte 52
Slika 30: Detekcija ledenjaka korištenjem dvije različite palete boja 53